

# Teoría de las Comunicaciones

Claudio Enrique Righetti  
*Segundo Cuatrimestre del 2014*

**Departamento de Computación**  
**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**  
**Universidad de Buenos Aires**  
**Argentina**



# Protocolos de acceso múltiple

Medios Compartidos ( “Broadcasts”)

# Acceso a medios Compartidos

---

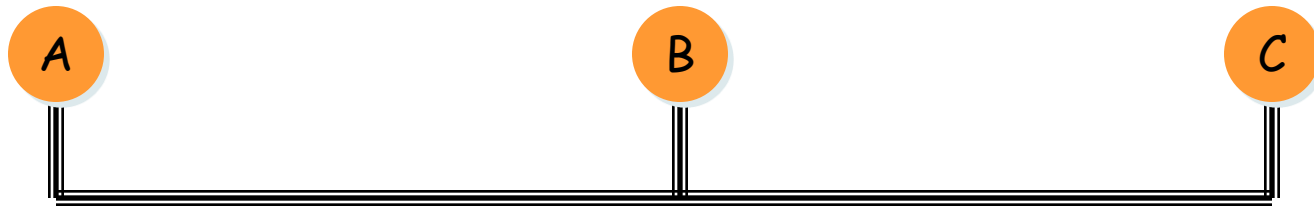
- ▶ Vimos que podíamos “compartir” un medio de transmisión guiado o no guiada mediante
  - ▶ TDM
  - ▶ FDM
  - ▶ WDM
  - ▶ Existe una técnica muy difundida , que escapa a los objetivos de esta materia : CDMA
- ▶ *“Los sistemas en los cuales varios usuarios comparten un canal común de modo tal que puede dar pie a conflictos se conocen como sistemas de **contención**”*

Redes de Ordenadores – 4 Edición- Tanenbaum-pp251

# El problema del acceso a un canal

---

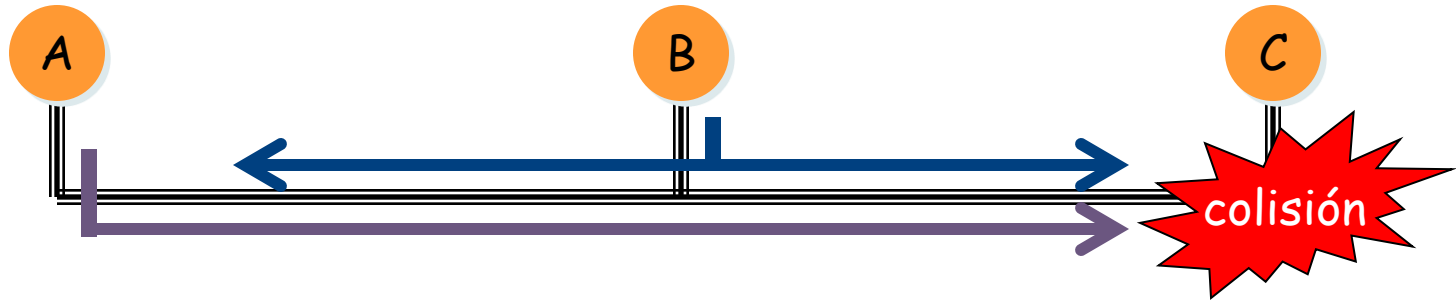
- ▶ Múltiples nodos comparten un medio



- ▶ Simultaneidad no es posible
- ▶ “MAC Protocols”
  - ▶ Maximizar en numero de comunicaciones
  - ▶ Asegurar “fairness” entre todos los nodos

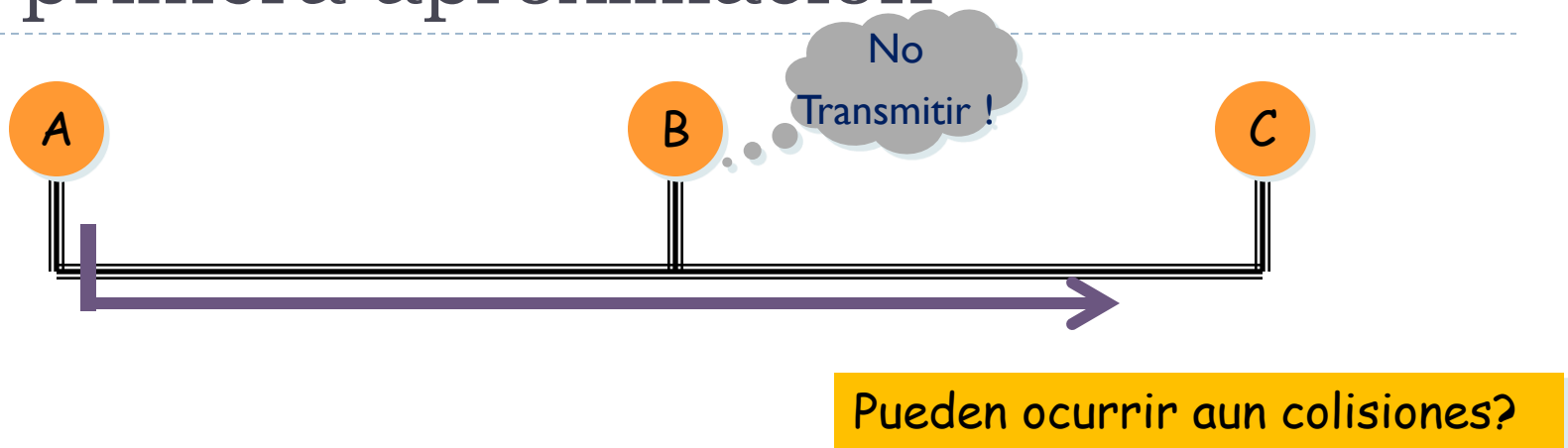
# Un esquema trivial

---



- ▶ Transmitir y esperar a que no sucedan colisiones ....
  - ▶ Muchas colisiones → bajo throughput con carga alta

# Una primera aproximación



- ▶ Escuchar antes de hablar ...
  - ▶ Carrier sense multiple access (CSMA)
  - ▶ Diferir la transmisión cuando hay señal en el canal

# Acceso a medios compartidos

---

- ▶ Se basa en protocolos de *acceso aleatorio*
  - ▶ La pérdida de cualquier trama se asume que es debido a que colisiono con otra trama de los emisores que “comparten” el medio
  - ▶ Tratan de evitar mas colisiones introduciendo una demora ALEATORIA ( backoff) antes de intentar una retransmisión
- ▶ Binary exponential backoff
  - ▶ El emisor usualmente duplica el rango de backoff delays por cada transmisión fallida, aumentando el rango de backoff incrementamos el numero de posibles random delay. Con lo cual disminuye la probabilidad que varias estaciones seleccionen el mismo delay

# CSMA (Carrier Sense Multiple Access Protocols)

CSMA/CD

CSMA/CA



# CSMA (acceso múltiple con sensado de portadora)

---

Escuchar antes de transmitir:

- ▶ Si el canal parece vacío: transmitir la trama.
- ▶ Si el canal parece ocupado, posponer la transmisión.

# Colisiones CSMA

Las colisiones pueden seguir ocurriendo:

el retardo de propagación significa que los dos nodos pueden no escuchar la transmisión de cada uno.

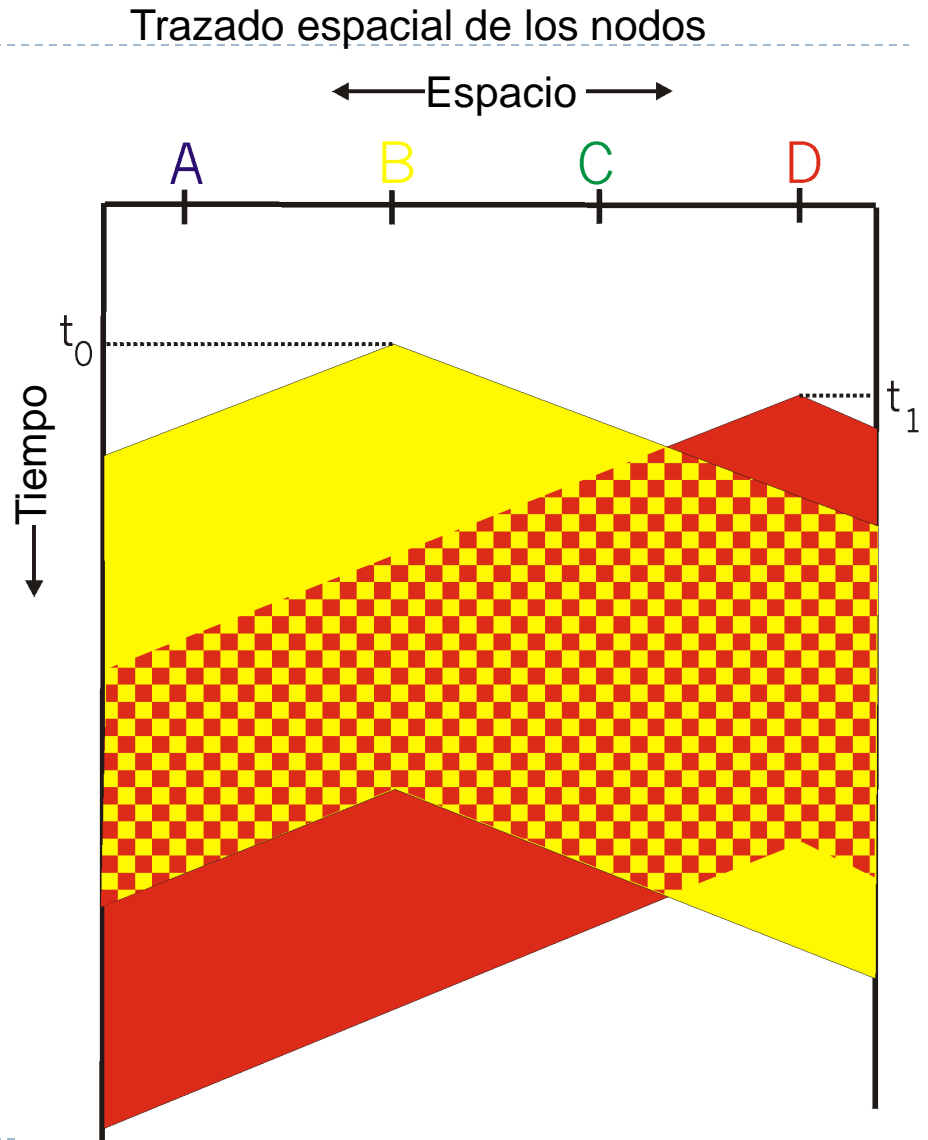
Colisión:

toda la transmisión de paquetes.

Tiempo perdido.

Nota:

función de distancia y retardo de propagación en determinar la probabilidad de colisión.



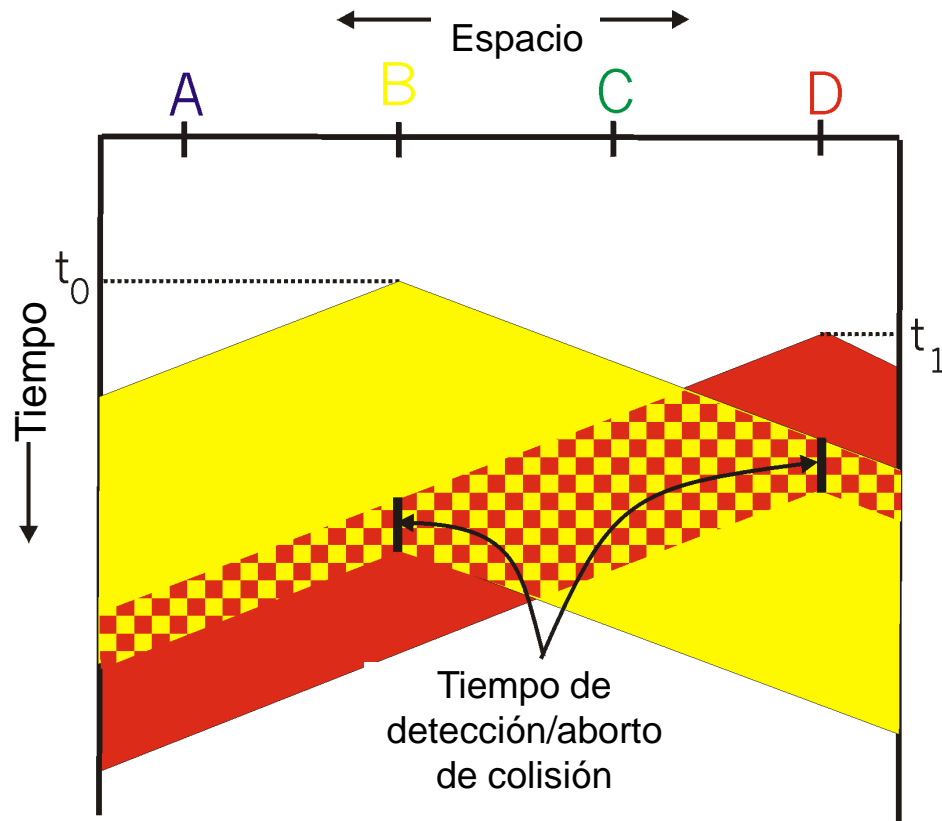
# CSMA/CD (detección de colisiones)

---

**Sensar !** , aplazamiento como en CSMA.

- ▶ Colisiones *detectadas* por poco tiempo.
- ▶ Transmisiones colisionantes abortadas, reduciendo el desperdicio de canal.
- ▶ **Detección de colisión:**
  - ▶ Fácil con cable LAN: mide longitudes de señales, comparación transmitida, señales recibidas.
  - ▶ Dificultad en LAN sin cable: el receptor se apaga en la transmisión.

# CSMA/CD detección de colisión



# CSMA/CA ( Collision Avoidance)

---

- ▶ Antes de transmitir , una estación debe determinar el estado del medio (libre o ocupado)
- ▶ Si el canal no está ocupado, se realiza una espera adicional llamada **espaciado entre tramas** (IFS)
- ▶ Si el canal se encuentra ocupado o se ocupa durante la espera, se ha de esperar hasta el final de la transacción actual
- ▶ Tras finalizar la transacción actual se ejecuta el algoritmo de Backoff
  - Determina una espera adicional y aleatoria escogida uniformemente en un intervalo llamado **ventana de contención** (CW)
  - Se mide en ranuras temporales (slots) ( Contention Timer)

# CSMA/CA ( Collision Avoidance)

---

- ▶ Si durante esta espera el medio no permanece libre durante un tiempo igual o superior a IFS, dicha espera queda suspendida hasta que se cumpla dicha condición
- ▶ Si se transmitió una trama , se espera recibir un ACK
- ▶ Si no se recibe , se asume que se perdió en una colisión y lo retransmite
- ▶ Previamente elige un timer de contención



# Redes Compartidas

Redes Inalámbricas

# Agenda – clase 26 agosto 2014

---

- ▶ Antecedentes
- ▶ Modelo de Referencia 802.11, Normas
- ▶ Configuraciones Típicas .Problema Terminal Oculta y Expuesta
- ▶ MACA y MACAW
- ▶ CSMA/CA :Two way , DCF
- ▶ CSMA/CA: Four Way ; RTS-CTS-DATA-ACK



# Antecedentes

---

- ▶ **ALOHA ( Abramson , 1970)**
  - ▶ Transmite siempre que lo necesite
  - ▶ Pasa a escuchar durante un  $T = 2 \cdot t_p + \Delta T$
  - ▶ Si recibe ACK → OK
  - ▶ Sino RTX



- ▶ **ALOHA ranurado (Roberts, 1972)**

Ninguna de las dos aprovechan el hecho que el tiempo de propagación entre estaciones es pequeño con respecto al tiempo de transmisión de las tramas . Con lo cual apenas comience a transmitir un nodo los demás los sabrán casi inmediatamente . Con lo cual las colisiones no serán habituales

# “First WiFi”

---

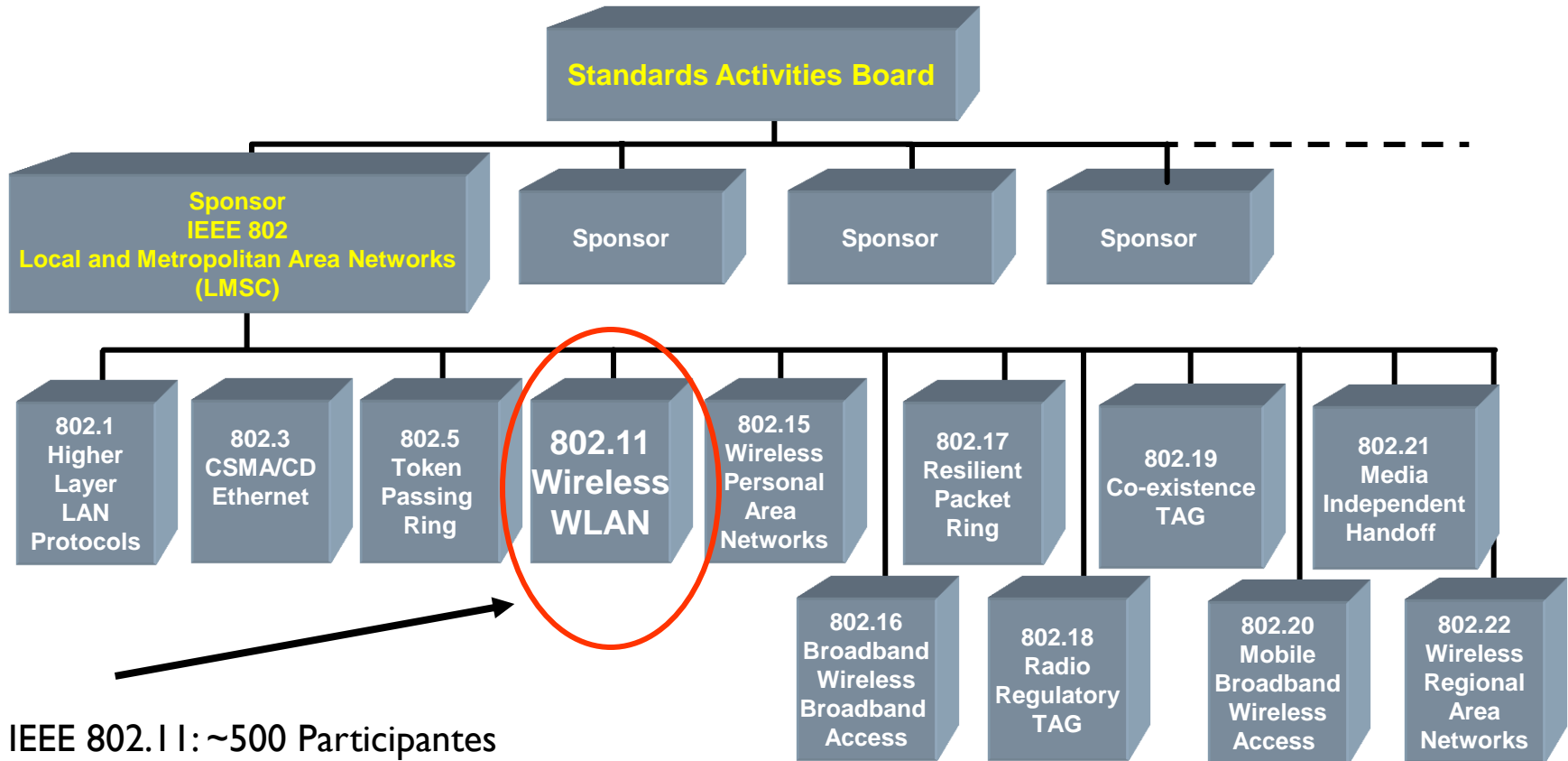
- ▶ Called WaveLAN



- ▶ Vic Hayes
  - ▶ “Father of WiFi” [http://www.ieeehqn.org/wiki/index.php/Vic\\_Hayes](http://www.ieeehqn.org/wiki/index.php/Vic_Hayes)

# Organización del grupo IEEE 802

## *IEEE Standards Association*

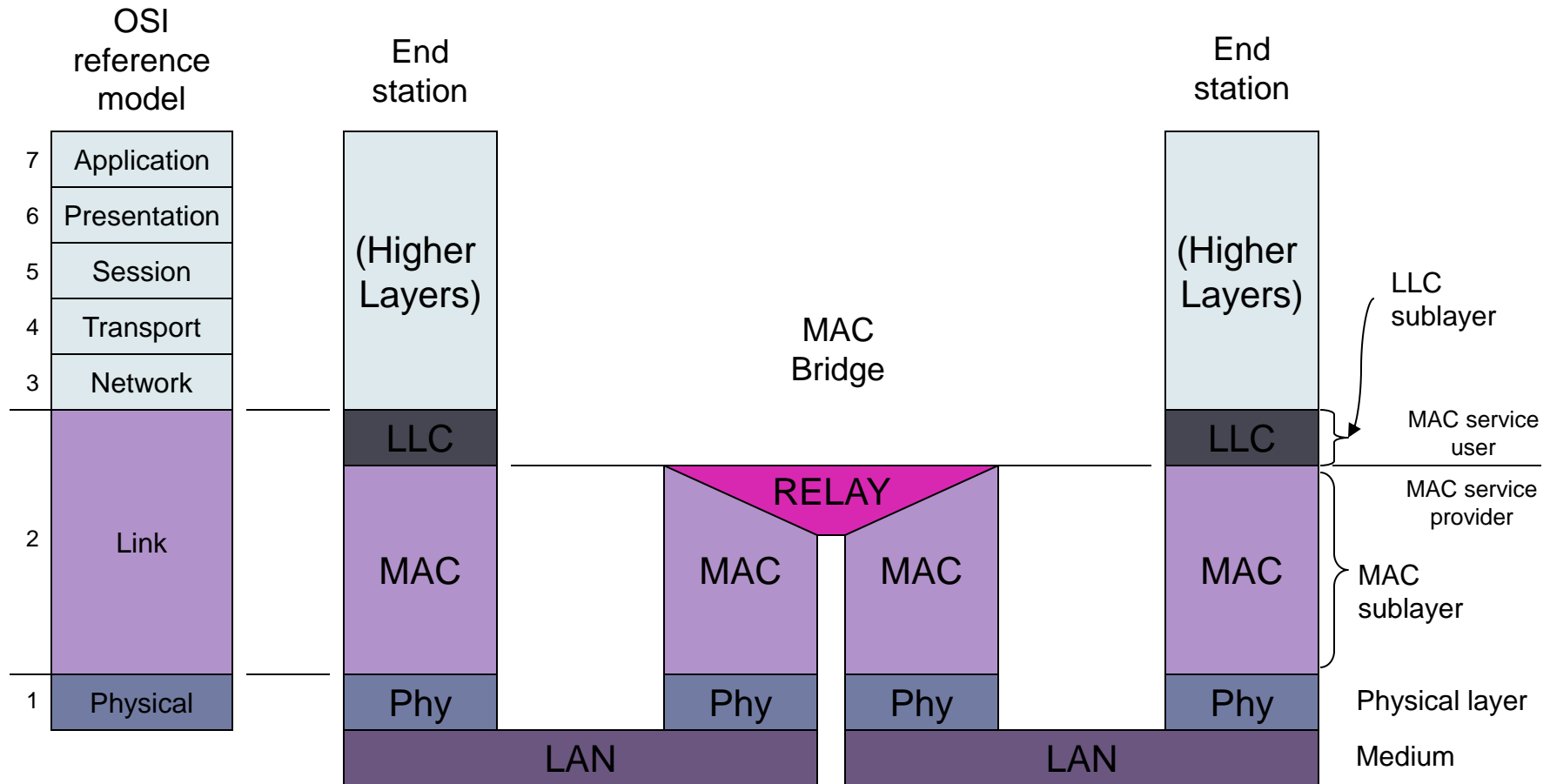


IEEE 802.11: ~500 Participantes

Miembros con voto ~300

[www.ieee802.org/11](http://www.ieee802.org/11)

# Arquitectura LAN 802



# Tecnologías Inalámbricas ( Wireless )

---

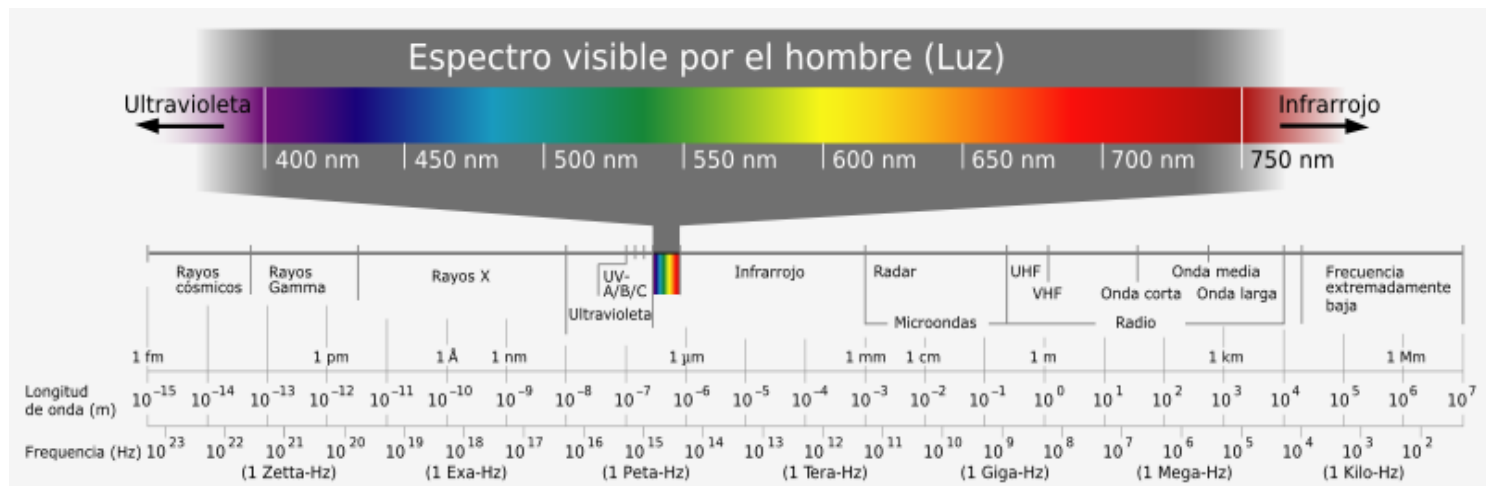
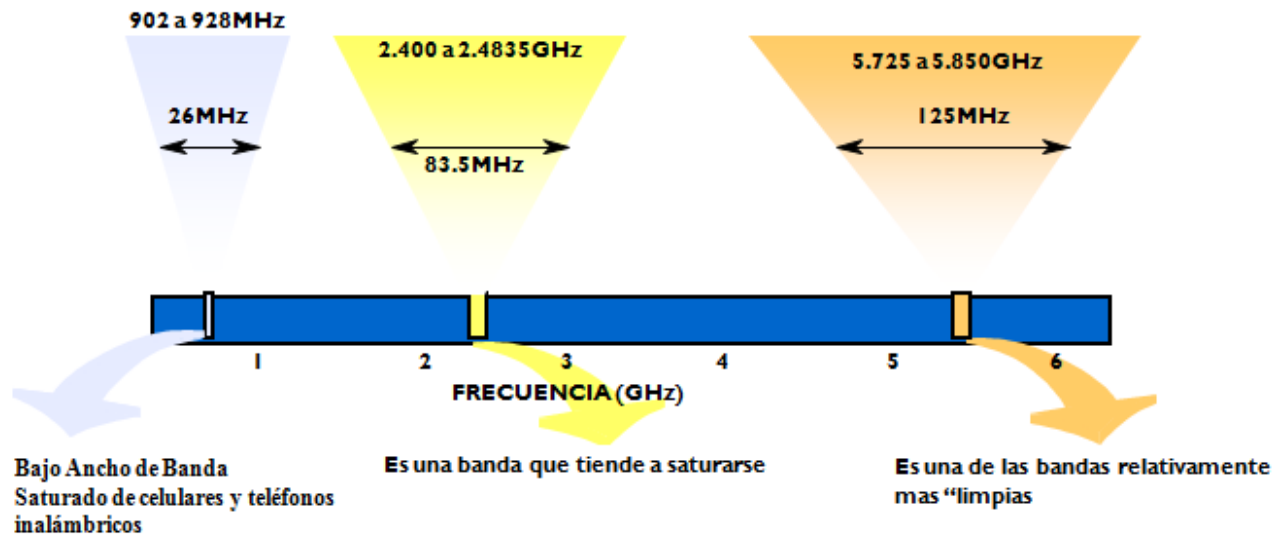
- ▶ La intensidad de la señal disminuye con la distancia
- ▶ Fuentes de Ruido mas impredecibles que en medios guiados ( wired , cableados) , con lo cual :
  - ▶ Tasa de errores elevadas
  - ▶ Entramado y confiabilidad
- ▶ Wireless en dispositivos móviles : energía es un nuevo desafío
- ▶ Acceso Compartido ( Multiacceso )

# Tecnologías Inalámbricas ( Wireless )

---

- ▶ Quien regula la potencia con que puedo transmitir ?
  - ▶ Depende de la banda del espectro electromagnético
  - ▶ En Argentina la CNC ( en USA FCC )
- ▶ Existen bandas del espectro donde necesito licencias para transmitir ( AM, FM , TV , Celulares , etc) y otras que denominadas “no licenciadas”
- ▶ El medio naturalmente permite “pinchar” una comunicación ( eavesdropping)
  - ▶ Debo encriptar los datos

# Bandas No Licenciadas ( IMS , Industrial, Scientific & Medical )



# Wireless en bandas no licenciadas

---

- ▶ Están sujetadas a limitaciones en la potencia de transmisión
  - ▶ Con lo cual limita la distancia y además afectan las interferencias de otros dispositivos
- ▶ Además cuando el espectro es compartido por muchas aplicaciones y dispositivos
  - ▶ Surge la idea de usar espectro disperso ( spread-spectrum )





802.11 a.k.a Wi-Fi

# Wi-Fi Alliance

---

- ▶ Fundada en 1999
- ▶ Mas de 400 compañías son miembros

Wi-Fi Alliance provee

- ▶ *Programas de certificación de productos*
  - ▶ *Mas de 9000*
- ▶ *MKT*



# Arquitectura de 802.11

# Nuevas Tecnologías ?

---

## **Wi-Fi** ( Wireless Fidelity )

- ▶ IEEE 802.11.b - 11 Mbps – DSSS – 2.4 GHz
- ▶ IEEE 802.11.a - 54 Mbps – OFDM – 5.8 GHz
- ▶ IEEE 802.11.g – 54 Mbps – OFDM- 2.4 GHz
- ▶ IEEE 802.11.n – 100 Mbps -----600 Mbps con MIMO  
(multiple input multiple output antennas)
- ▶ IEEE 802.11.ac – 7 Gbps en 5 Ghz
- ▶ Comienzan a trabajar en un standard para 1 Tbps
- ▶ IEEE 802.11.ad – ?? ..... 5G !!!

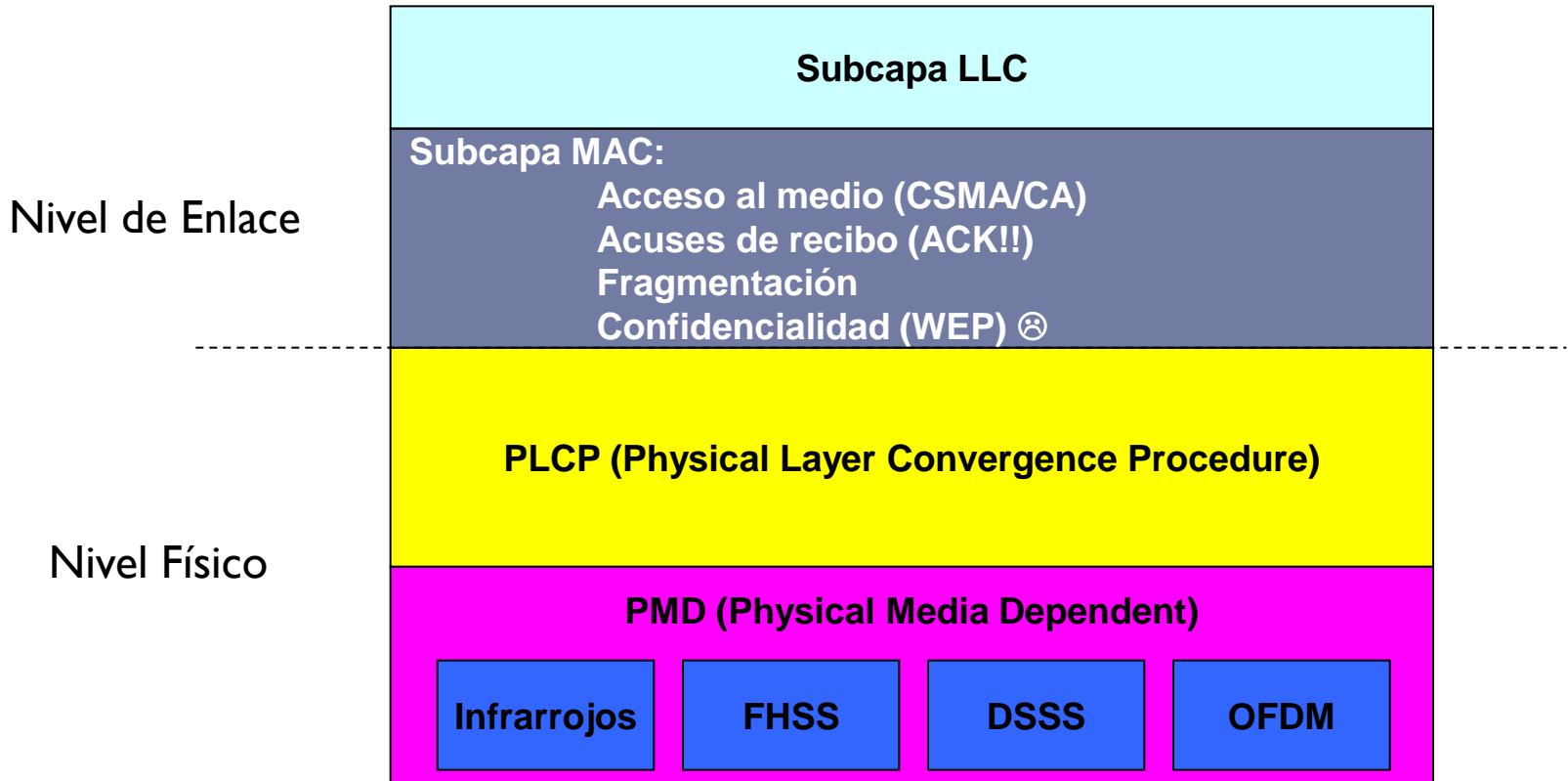
# Introducción

---

- ▶ Aunque el standard IEEE 802.11 se encuentra desarrollando desde 1997, continua la evolución a los efectos de tener mayor velocidad , seguridad, QoS y movilidad
- ▶ Wireless LANs satisface movilidad, relocation y los requerimientos de “ ad hoc networking “

# Modelo de Referencia de 802.11

---



# Comparación de los distintas normas(1)

<b>Network Std</b>	<b>IEEE 802.11b</b>	<b>IEEE 802.11g</b>	<b>IEEE 802.11a</b>
<b>Metodo de Acceso</b>	<b>CSMA/CA</b>	<b>CSMA/CA</b>	<b>CSMA/CA</b>
<b>Modulacion</b>	<b>CCK (8 complex chip spreading)</b>	<b>64-QAM-OFDM 16-QAM-OFDM QPSK-OFDM BPSK-OFDM</b>	<b>64-QAM-OFDM 16-QAM-OFDM QPSK-OFDM BPSK-OFDM</b>
<b>Data Rate</b>	<b>1, 2, 5.5, 11 Mbps</b>		<b>6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps</b>
	<b>2.4 – 2.4835 GHz</b>	<b>2.4 – 2.4835 GHz</b>	<b>5.150 – 5.250 5.250 – 5.350 5.725 – 5.825 GHz</b>
<b>Channelization</b>	<b>25/30 MHz spacing 3 Channels</b>	<b>25/30 MHz spacing 3 Channels</b>	<b>20 MHz spacing 8 canales</b>

# Comparación de los distintas normas(2)

TECHNOLOGY	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
Typical Usages	Wireless access to the Internet	Wireless access to the Internet	Wireless access to the Internet	Wireless access to the Internet	Wireless access to the Internet
Typical range	~30m indoors ~200m outdoors	~30m indoors ~200m outdoors	~15m indoors ~100m outdoors	~30m indoors ~200m outdoors	~100m indoors
Data rate	max. 2 Mbit/s	max. 11 Mbit/s	max. 54 Mbit/s	max. 54 Mbit/s	>100 Mbit/s
Frequency	2.4 GHz unlicensed	2.4 GHz unlicensed	5 GHz licensed and unlicensed	2.4 GHz unlicensed	2.4 GHz unlicensed
Physical layer	FHSS/DSSS	DSSS	OFDM	OFDM	OFDM with multiple antennas (MIMO)
MAC layer	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
Backwards compatibility	n.a.	802.11	none	802.11b	802.11b
Year of standard	1997	1999	1999	2003	Expected 2009
Products since	1998	1999	2002	2003	2006 (pre-standard)



# 802.11n versus 802.11ac

	802.11n	802.11ac	ventajas
Banda	2.4 or 5GHz	5 GHz only	
Alcance	70 m @ 2.4GHz	30 m @ 5GHz	
Bandwidth del Canal	20, 40 MHz	(plus) 80, 160 MHz	2x~4x capacidad
Modulación	64-QAM	256-QAM	Se mejora eficiencia espectral (33%)
Spatial Streams	hasta 4	hasta 8 (SDMA)	Incremento capacidad
Beamforming	Optional	Standardized	Se incrementa cobertura
Max Throughput	600 Mbps	3.2 Gbps	Mayor velocidad

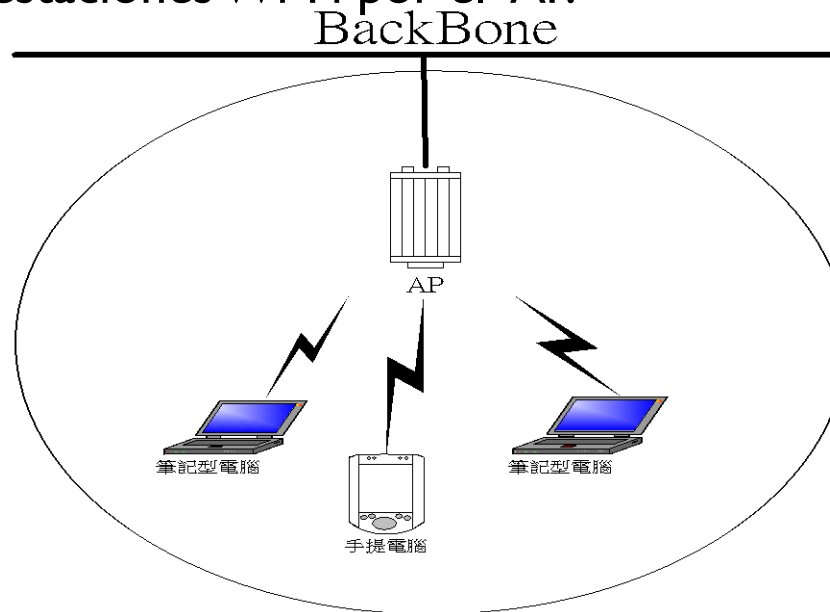
# Nivel físico en 802.11

---

- ▶ **Infrarrojos:** solo válido en distancias muy cortas y en la misma habitación( histórico )
- ▶ **Radio:**
  - ▶ Espectro expandido por salto de frecuencia **FHSS** (Frequency Hoping Spread Spectrum): Sistema de bajo rendimiento, muy poco utilizado actualmente.
  - ▶ Espectro expandido por secuencia directa **DSSS** (Direct Sequence Spread Spectrum).
  - ▶ Multiplexación por división de Frecuencia Ortogonal **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

# Configuraciones Típicas

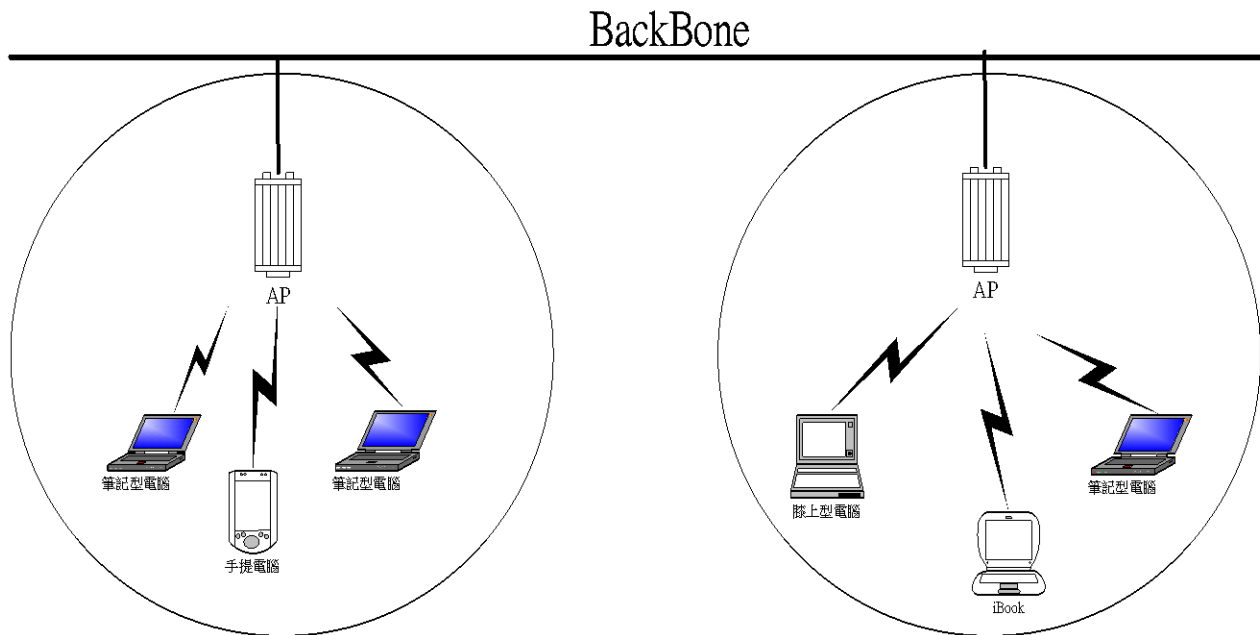
- ▶ Infraestructura
  - ▶ Consiste de al menos un Access Point (AP)
    - I. **Basic Service Set (BSS)** – Un AP provee la función de un puente (bridge) local para BSS. Todas las estaciones se comunican con el AP y no directamente entre ellas. Las tramas son retransmitidas entre las estaciones Wi-Fi por el AP.



# Configuraciones Típicas (cont.)

- **Extended Service Set (ESS)** – Un ESS es un conjunto de BSSs, donde los APs se comunican entre ellos para forwardear el tráfico desde una BSS a otra. Facilita el movimiento de una estación

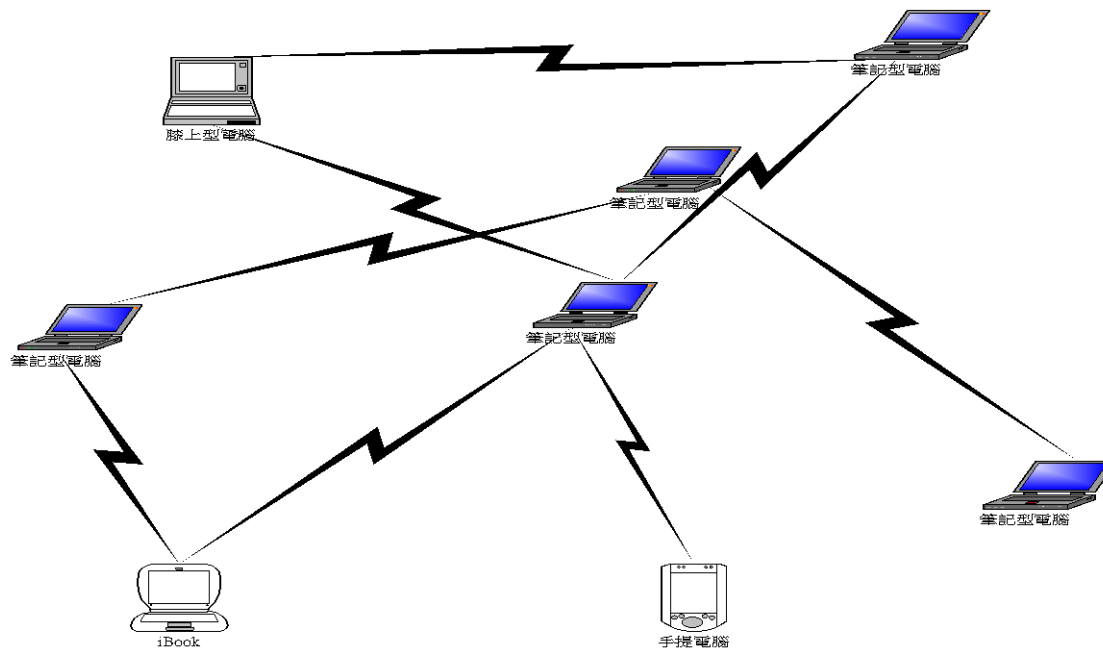
Wi-Fi entre BSS.



# Configuraciones Típicas (cont.)

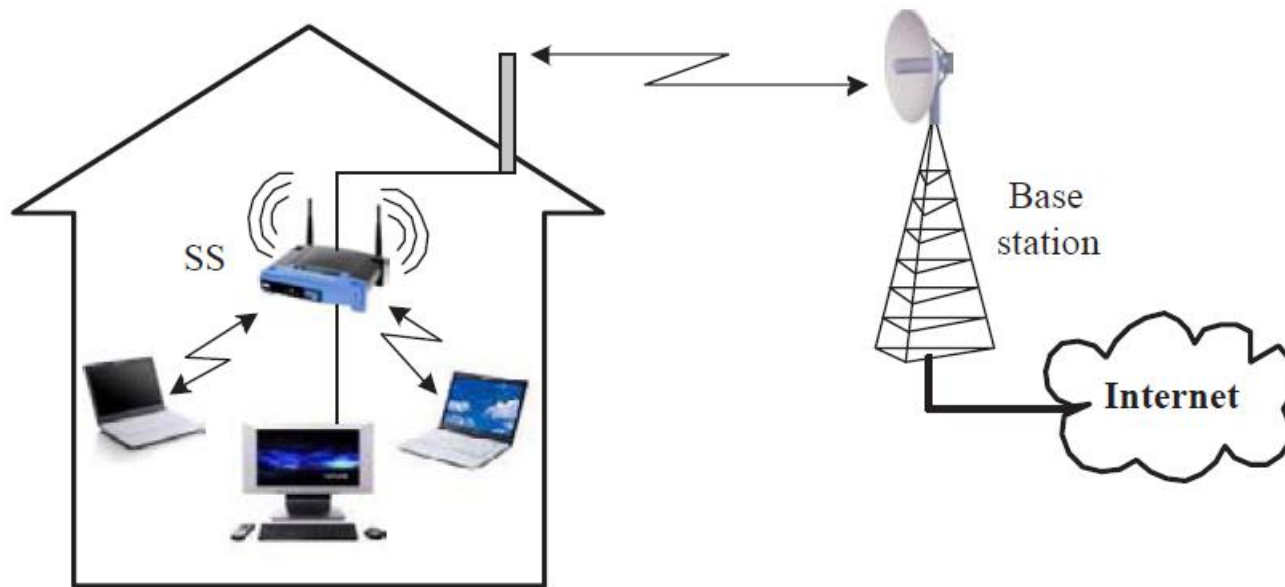
## ► Ad Hoc

- Las estaciones inalámbricas se comunican directamente entre sí. Cada estación puede no ser capaz de comunicarse con cualquier otra estación debido a las limitaciones rango (utilizando wireless routing protocol).



## “sui generis”

- ▶ Mediante antenas con ganancias mayores a la permitida por la norma , amplificadores y torres , es una infraestructura utilizada en muchas zonas suburbanas y rurales del país por ISPs,



# Nivel MAC en 802.11

Problema de la Terminal oculta y Expuesta  
MACA y MACAW

# Acceso al Medio

---

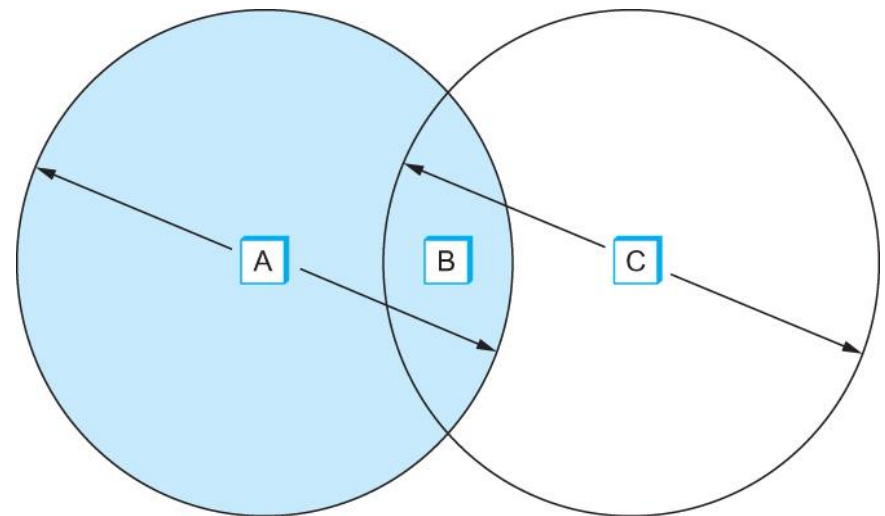
- ▶ Con un enfoque simplista podríamos pensar en usar CSMA/CD para usar una LAN inalámbrica (WLAN). El problema es que este protocolo es inadecuado por que lo que importa es la interferencia en el receptor y no en el transmisor .



# Problema de la estación oculta

---

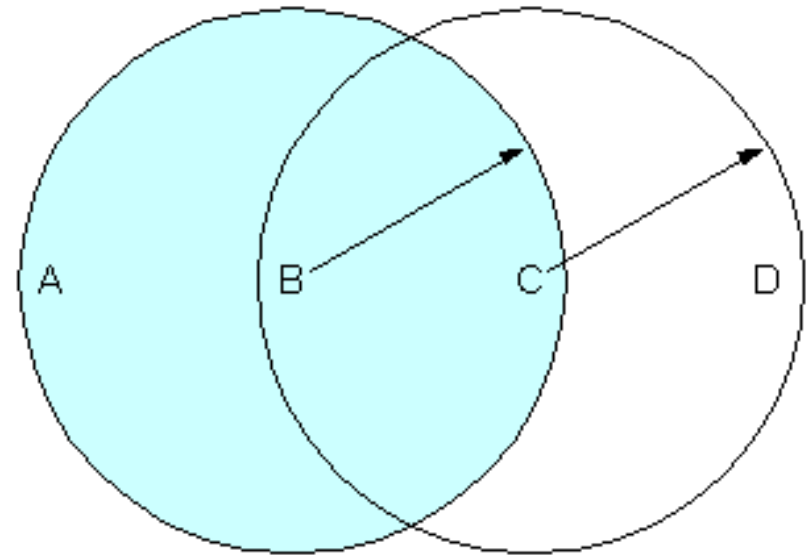
Primero considere lo que ocurre cuando A transmite a B. Si C detecta el medio no escuchará a A porque está fuera de su alcance, y por lo tanto deducirá erróneamente que puede transmitir. Si C comienza a transmitir, interferirá en B eliminando la trama de A. El problema de que una estación no puede detectar a un competidor potencial por el medio, puesto que el competidor está demasiado lejos, se denomina problema de **la estación oculta**.



# Problema de la estación expuesta

---

Ahora consideremos la situación inversa: B transmite a A. Si C detecta el medio, escuchará una transmisión y concluirá que no puede enviar a D. Cuando de hecho tal transmisión causaría una mala recepción solo en la zona entre B y C, en la que no está localizado ninguno de los receptores pretendidos. Esta situación se conoce como problema de **estación expuesta**



# En resumen :

---

- ▶ El problema es que antes de comenzar una transmisión se quiere saber si hay ó no **actividad en las cercanías del receptor** y no alrededor del transmisor.

# Antecedentes

---

- ▶ MACA [Karn 1990]
- ▶ MACAW [1994]

# MACA

---

- ▶ MACA (Multiple Access Collision Avoidance) se usó como base para el 802.11. El concepto en que se basa es que, el transmisor estimula al receptor a enviar una trama corta, de manera que las estaciones cercanas puedan detectar esta transmisión y eviten ellas mismas de hacerlo durante la trama siguiente de datos.

# MACA [Karn1990]

---

- ▶ **A** comienza por enviar una trama *RTS* (*Request to Send*) a **B**. Esta trama corta (30 bytes) contiene la longitud de trama de datos que seguirá posteriormente. Entonces **B** contesta con una trama *CTS* (*Clear to send*). La trama contiene la longitud de los datos (copiado de la trama *RTS*). A la recepción de la trama *CTS*, **A** comienza a transmitir.

# MACA

---

- ▶ Cualquier estación que escuche el RTS está lo suficientemente cerca de A y debe permanecer en silencio durante el tiempo suficiente para que el CTS se transmita de regreso a A sin conflicto. Cualquier estación que escuche el CTS evidentemente está lo suficientemente cerca de B y debe permanecer en silencio durante el siguiente tiempo de transmisión de datos, cuya longitud puede determinar examinando la trama CTS.

# MACA

---

- ▶ A pesar de estas precauciones, aún pueden ocurrir colisiones. Por ejemplo **B** y **C** pueden enviar tramas RTS a **A** al mismo tiempo. En el caso de una colisión, un transmisor sin éxito (es decir uno que no escucha un CTS en la ranura de tiempo esperado) espera un tiempo aleatorio y reintenta.



# MACAW [1994] : las mejoras a MACA

---

- ▶ Agregando un ACK tras cada trama de datos exitoso.
- ▶ Agregando la detección de portadora (CSMA/CA)
- ▶ Ejecutando el algoritmo de retroceso por separado para cada flujo de datos, en lugar de para cada estación.
- ▶ Agregando mecanismo para que las estaciones intercambien información sobre congestionamientos.
- ▶ el algoritmo de retroceso reaccione menos violentamente a problemas pasajeros

# Nivel MAC en 802.11

Otro enfoque

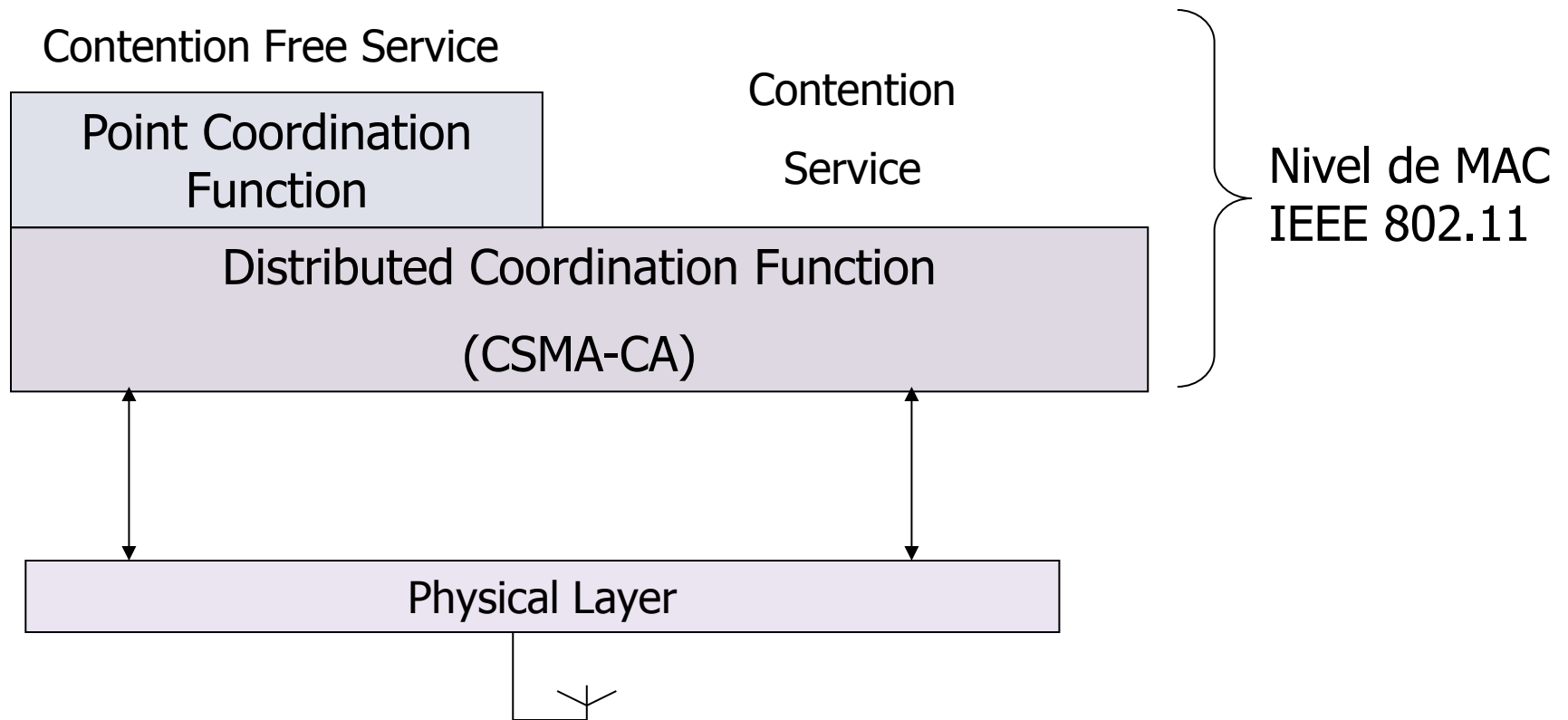
# Protocolo Wireless LAN MAC

---

- ▶ Resumiendo las causas por las cuales no podemos utilizar el mecanismo Collision Detection (CD) en una wireless LAN.
- ▶ Requiere la implementación de un radio full duplex que incrementa los costos significativamente
- ▶ No todas las estaciones pueden “escucharse” una con otras en un ambiente wireless (que todos “escuchan” es la premisa de CD ).

# IEEE 802.11

IEEE 802.11 MAC define dos métodos de acceso, Distributed Coordination Function (DCF) el cual es el mecanismo base y Point Coordination Function (PCF) opcional



# DCF MAC

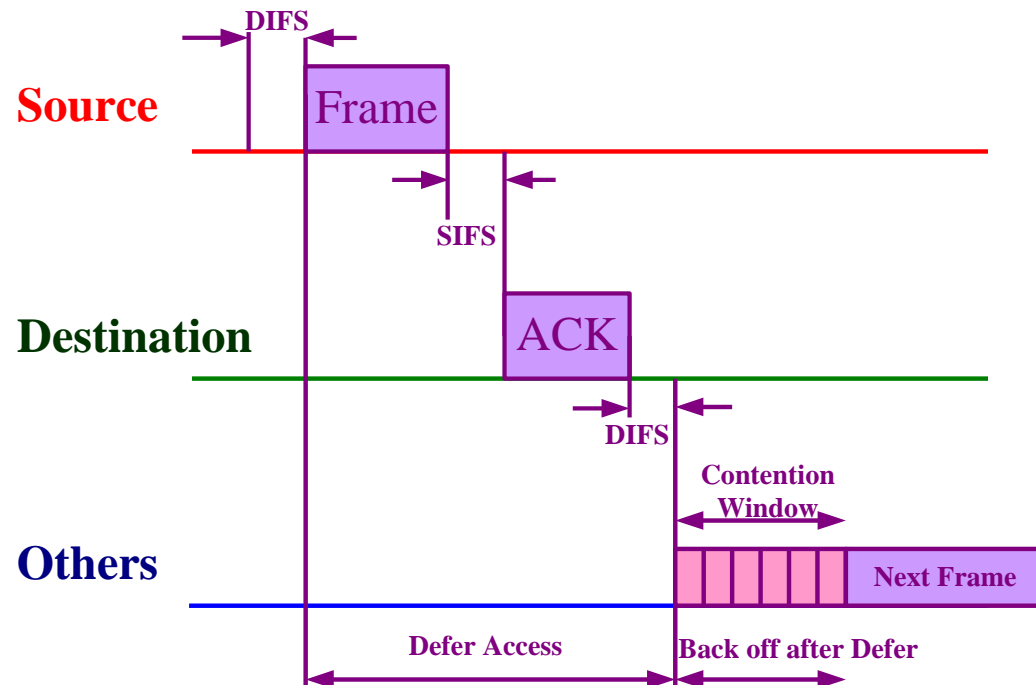
---

- ▶ DCF MAC parte de IEEE 802.11 esta basado CSMA-CA con rotación de *backoff window* .
- ▶ Escucha el canal , si esta libre TX
- ▶ Si esta ocupado espera hasta que finalice la TX mas un *periodo de contención* es cual es un tiempo random que asegura un acceso al medio equitativo (fairness)
- ▶ *Contention period* se cuantifica mediante un back-off counter
- ▶ => Cuando un nodo recibe un frame para TX, este elige un valor *random backoff* , el cual determina cuanto tiempo el nodo debe esperar hasta que esta permitido TX el frame. El nodo almacena este valor de backoff en un *backoff counter*. La probabilidad que dos nodos elijan el mismo factor de backoff es pequeña con la cual las colisiones entre tramas se minimizan.

# DCF MAC : La *ventana de contención*

- ▶ Mientras el canal esta libre el nodo decrementa el backoff counter ( caso contrario se mantiene) .Si backoff counter= 0  $\Rightarrow$  el nodo TX el frame.
- ▶ Si la TX no es exitosa – no ACK, la *ventana de contención* (contention window), se selecciona de una intervalo random que es el doble del intervalo previo , este proceso se repite hasta que el canal esta libre

## CSMA/CA Back off Algorithm

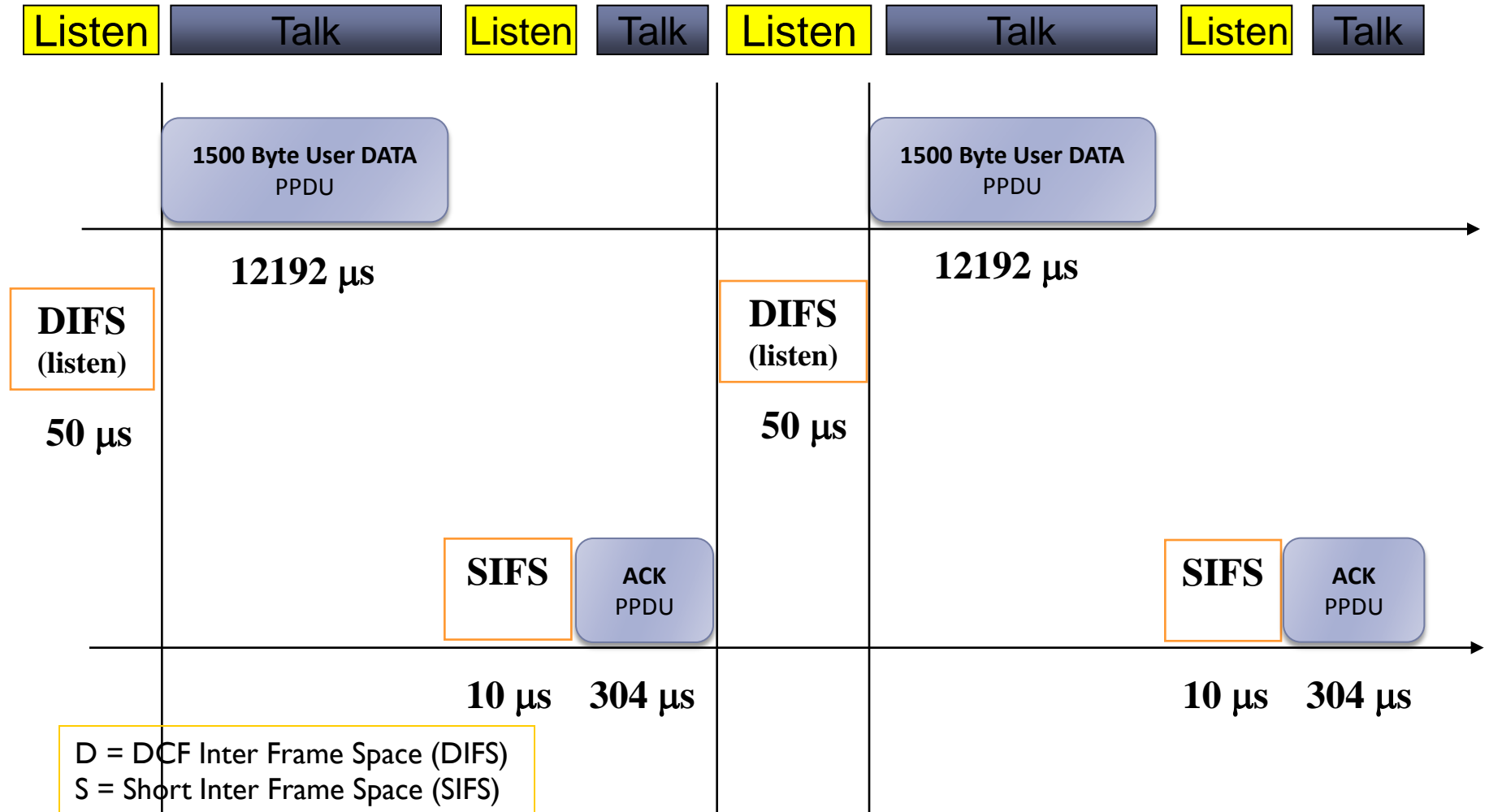


# DIFS ( Distributed Control Function Interframe)

- ▶  $DIFS = \text{SIFS} + (2 * \text{Slot time})$

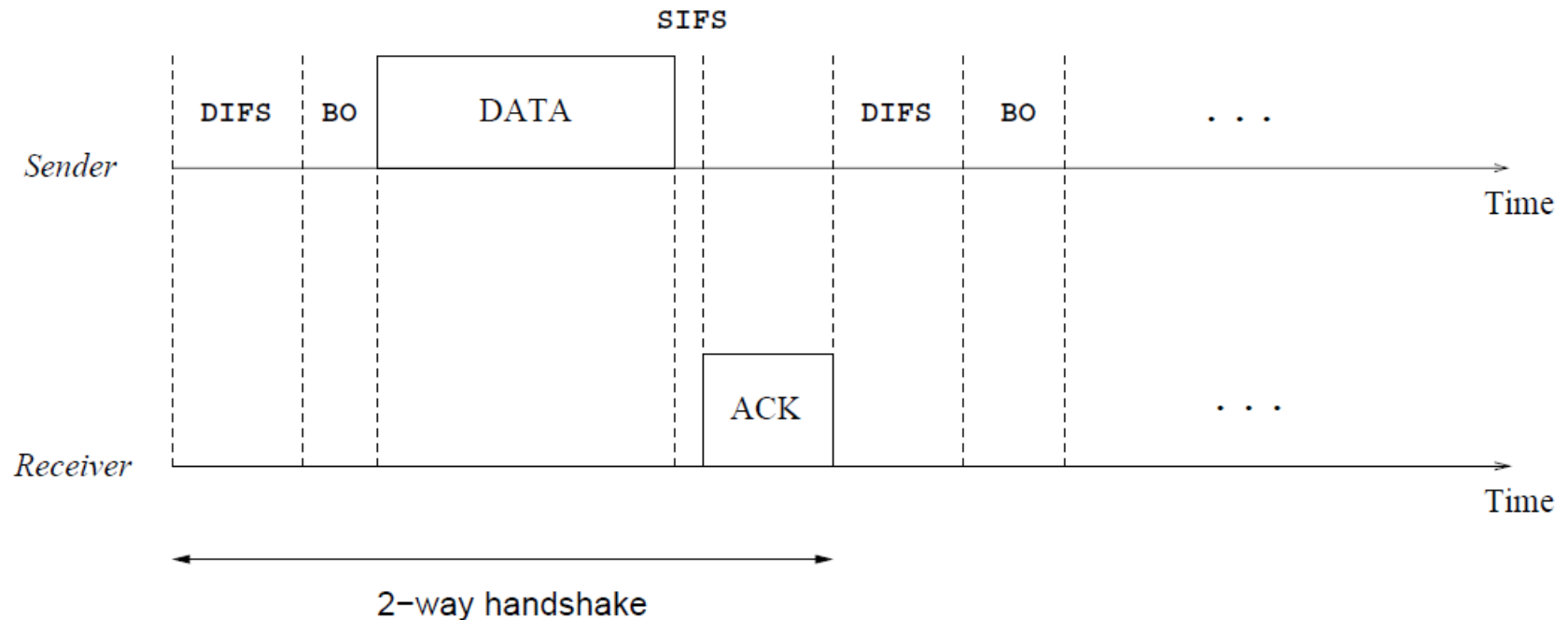
PHY Option	Slot time ( $\mu\text{s}$ )	DIFS ( $\mu\text{s}$ )
802.11b	20	50
802.11a	9	34
802.11g	9 or 20	28 or 50

# Protocolo Básico - “Listen Before Talk”





# Resumen: Evolución en el tiempo sin colisión



- ▶ Slot Time:  $20 \mu s$
- ▶ DIFS (distributed interframe space):  $50 \mu s$ 
  - ➔  $DIFS = SIFS + 2 \times \text{slot time}$
- ▶ BO: variable back-off (dentro de una CW)
  - ➔  $CW_{min}: 31; CW_{max}: 102$

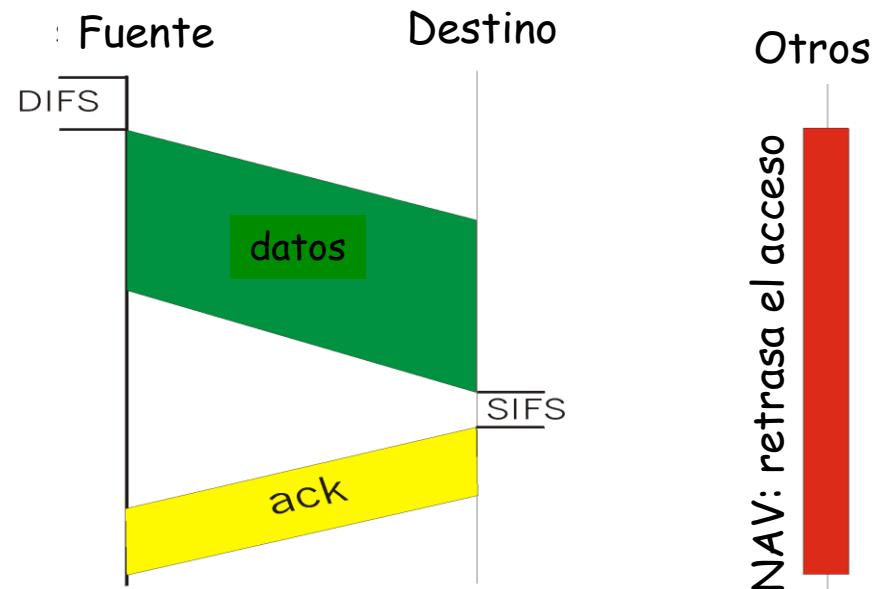
# Resumiendo

## 802.11 CSMA: emisor

- Si detecta el canal vacío por **DIFS** segundos, entonces transmite la trama completa (sin detección de colisión).
- Si detecta el canal ocupado entonces backoff binario

## 802.11 CSMA receptor

- Si se recibe bien devuelve ACK tras **SIFS** (ACK es necesario por el problema del terminal oculto ??).



# Mecanismos para evitar la colisión

---

## ▶ Problema:

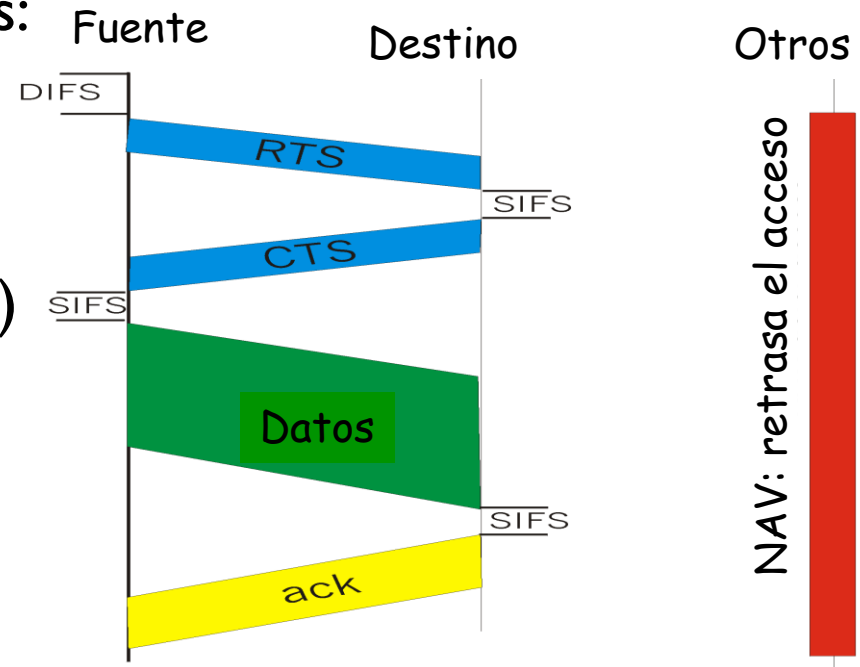
- ▶ Dos nodos, ocultos el uno del otro, transmiten TRAMAS completas a la estación base.
- ▶ ¡Ancho de banda desperdiciado durante mucho tiempo!

## ▶ Solución:

- ▶ Pequeños paquetes de reserva.
- ▶ Intervalos de reserva de camino de nodo con vector de reserva de red (NAV) interno.

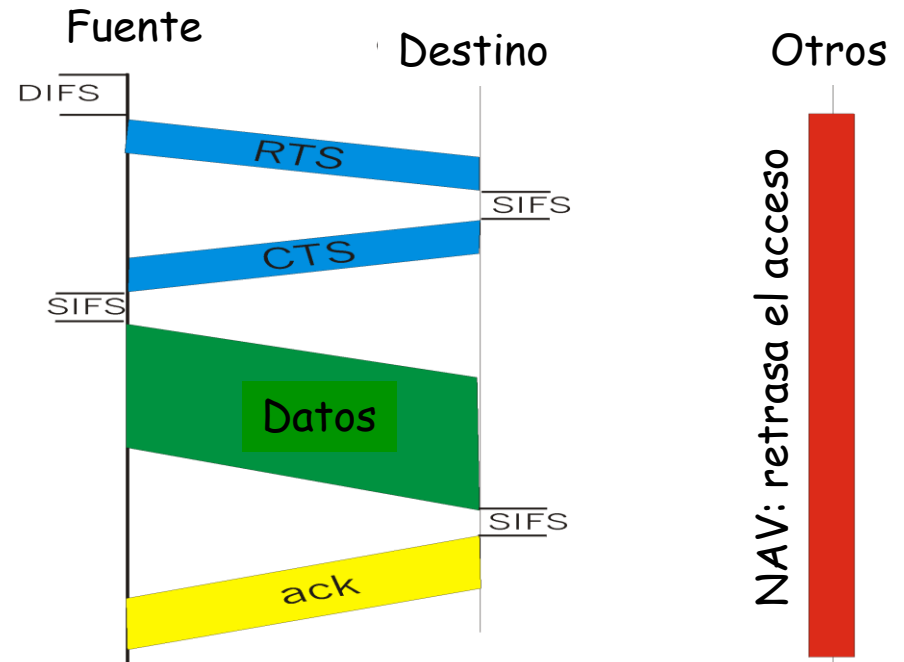
# Evitar la colisión: Intercambio RTS-CTS

- ▶ El emisor transmite paquetes RTS (request to send) cortos: indica la duración de la transmisión.
- ▶ El receptor responde con paquetes CTS (clear to send) cortos.
  - ▶ Notificando nodos (posiblemente ocultos).
- ▶ Los nodos ocultos no transmitirán por una duración determinada: NAV.



# Evitar colisión: intercambio RTS-CTS

- ▶ RTS y CTS cortos:
  - ▶ Colisiones menos probables y de menor duración.
  - ▶ Resultado final similar a la detección de colisión
- ▶ IEEE 802.11 permite:
  - ▶ CSMA.
  - ▶ CSMA/CA: reservas.
  - ▶ Elegir desde AP.



# Trama en IEEE 802.11

---

- ▶ Direcciones fuentes y destino de 48 bits
- ▶ Carga útil hasta 2312 bytes
- ▶ CRC: 32 bit
- ▶ Campo de control: 16 bits
  - ▶ Contiene tres subcampos importantes ...
    - ▶ 6 bit **Type** : indica si la trama frame es un RTS o CTS o esta siendo usado por un algoritmo de escaneo .
    - ▶ Un par de bits : llamados **ToDS** y **FromDS**



Frame Format

# Eficiencia : raw data !!!!!

- ▶ La tabla nos presenta data rates a NI para IEEE 802.11a/g con codificación convolucional “convolutional coding.” Esos números son “raw rates” y el throughput de es de alrededor de 28 Mbps para 54Mbps (46% de eficiencia), [64QAM y 3/4 coding rate en un ancho de banda de 20-MHz].

Mode	Modulation	Code rate	Data rate (Mbps)
1	BPSK	1/2	6
2	BPSK	3/4	9
3	QPSK	1/2	12
4	QPSK	3/4	18
5	16QAM	1/2	24
6	16QAM	3/4	36
7	64QAM	2/3	48
8	64QAM	3/4	54

# Algunas cuestiones pendientes :

- ▶ Estas en condiciones de interpretar estas especificaciones ?  
Este equipo además de dual band tanto en 2.4 como en 5 Ghz ? Como lo configurarías en tu hogar ?

## Linksys E2000

### Appendix B: Specifications

Model Name	Linksys E2000
Description	Advanced Wireless-N Router
Model Number	E2000
Standards	802.11n, 802.11a, 802.11g, 802.11b, 802.3, 802.3u, 802.3ab
Ports	Power, Internet, and Ethernet
Buttons	Reset, Wi-Fi Protected Setup
LEDs	Ethernet (1-4), Wi-Fi Protected Setup, Wireless, Internet, Power
Cabling Type	CAT 5e
Number of Antennas	3
RF Pwr (EIRP) in dBm	17 dBm
Antenna Gain in dBi	Main Antenna*: 1.5 dBi Third Antenna: 2.2 dBi
UPnP able/cert	Able
Security Features	WEP, WPA, WPA2
Security Key Bits	Up to 128-Bit Encryption

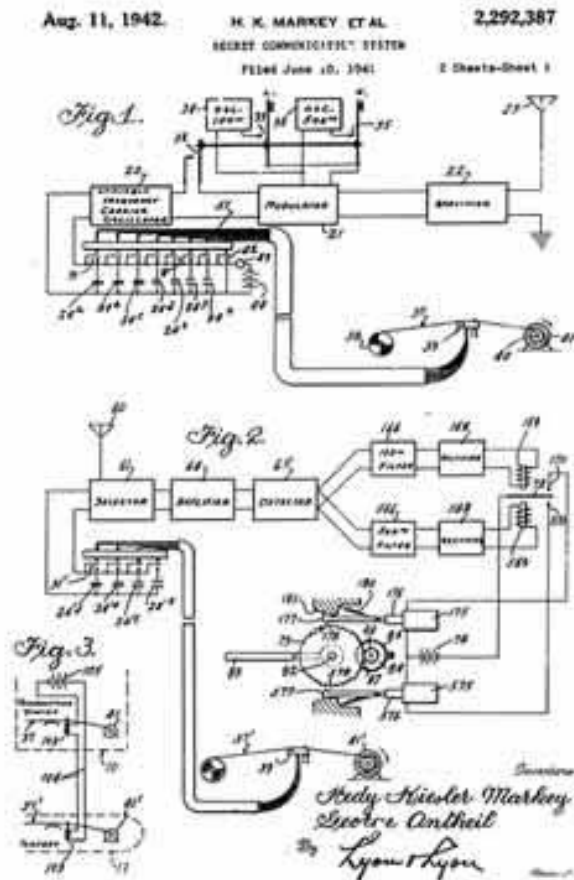
- ▶ Por último muchos equipos especifican en número de antenas , cual es el motivo ?



# Espectro Disperso

Antecedentes

# Actriz ( e Ing.) inventa la técnica

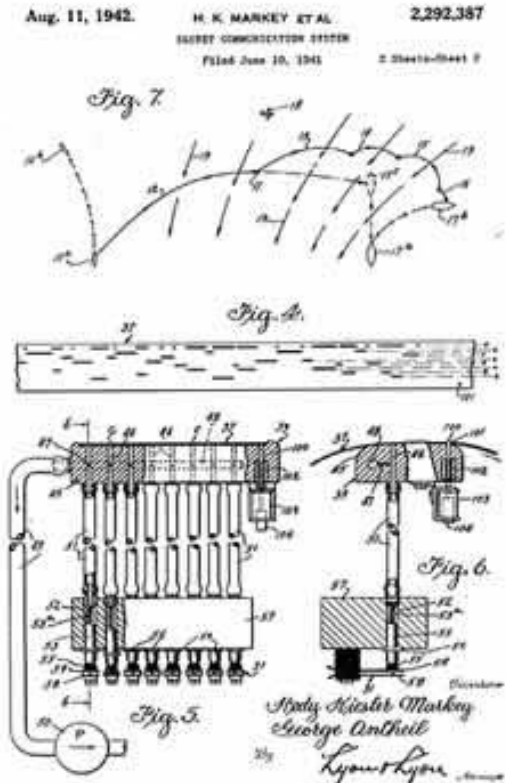


## HEDY LAMARR INVENTOR

### Actress Devises 'Red-Hot' Apparatus for Use in Defense

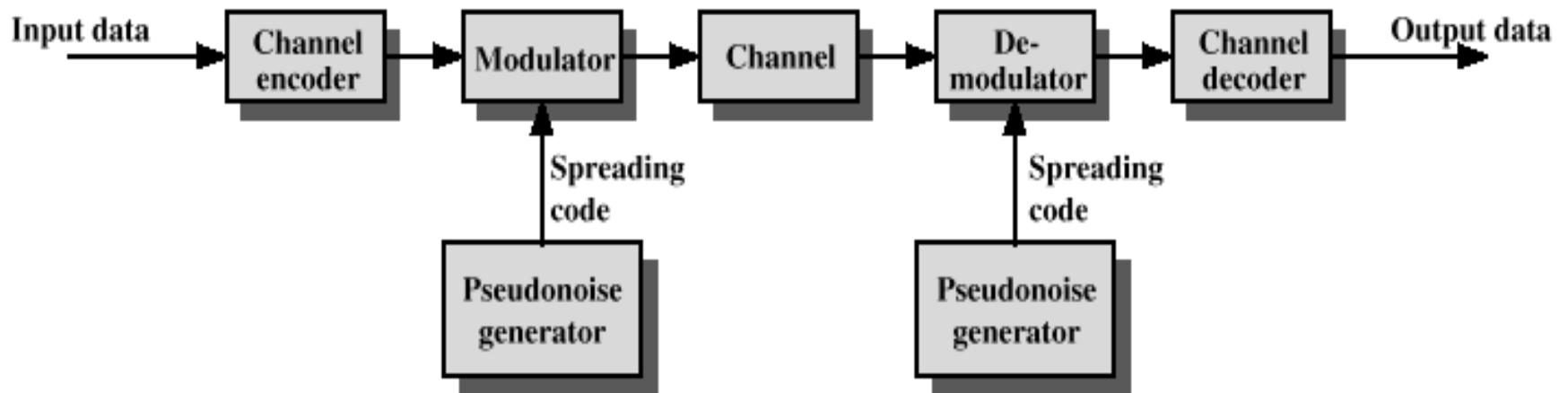
Special to THE NEW YORK TIMES.  
HOLLYWOOD, Calif., Sept. 30—Hedy Lamarr, screen actress, was revealed today in a new role, that of an inventor. So vital is her discovery to national defense that government officials will not allow publication of its details.

Colonel L. B. Lent, chief engineer of the National Inventors Council, classed Miss Lamarr's invention as in the "red hot" category. The only inkling of what it might be was the announcement that it was related to remote control of apparatus employed in warfare.



# Spread Spectrum

---



**Figure 7.1 General Model of Spread Spectrum Digital Communication System**

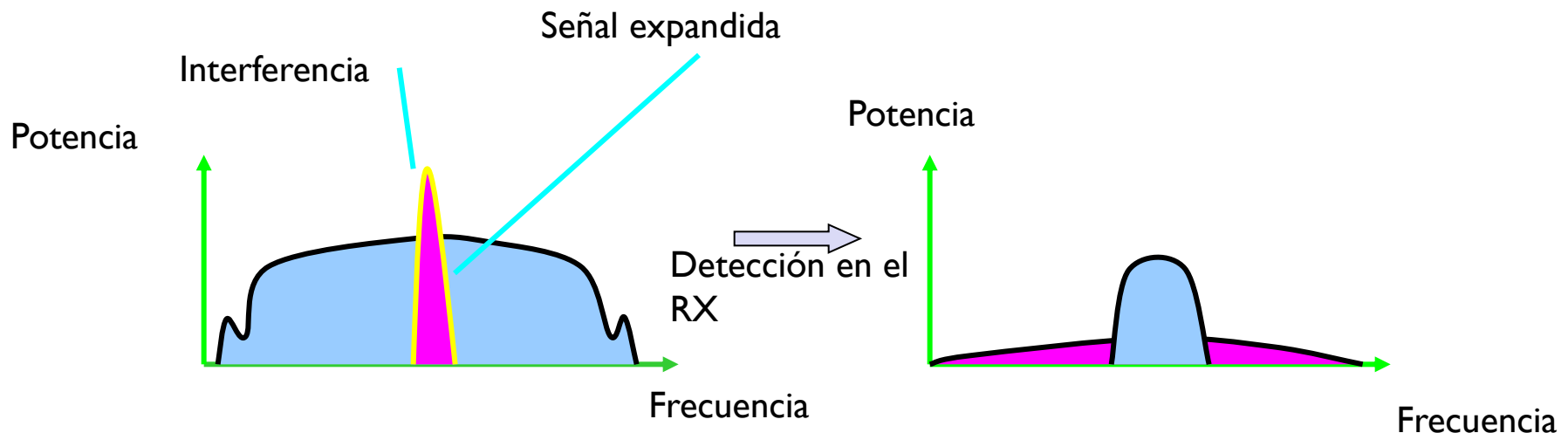
# Espectro expandido

---

- ▶ Utilizar una potencia de salida baja.
- ▶ Las técnicas tradicionales de modulación maximizan la potencia en el centro de la frecuencia asignada para solventar el problema del ruido (resulta fácil su detección e interceptación).

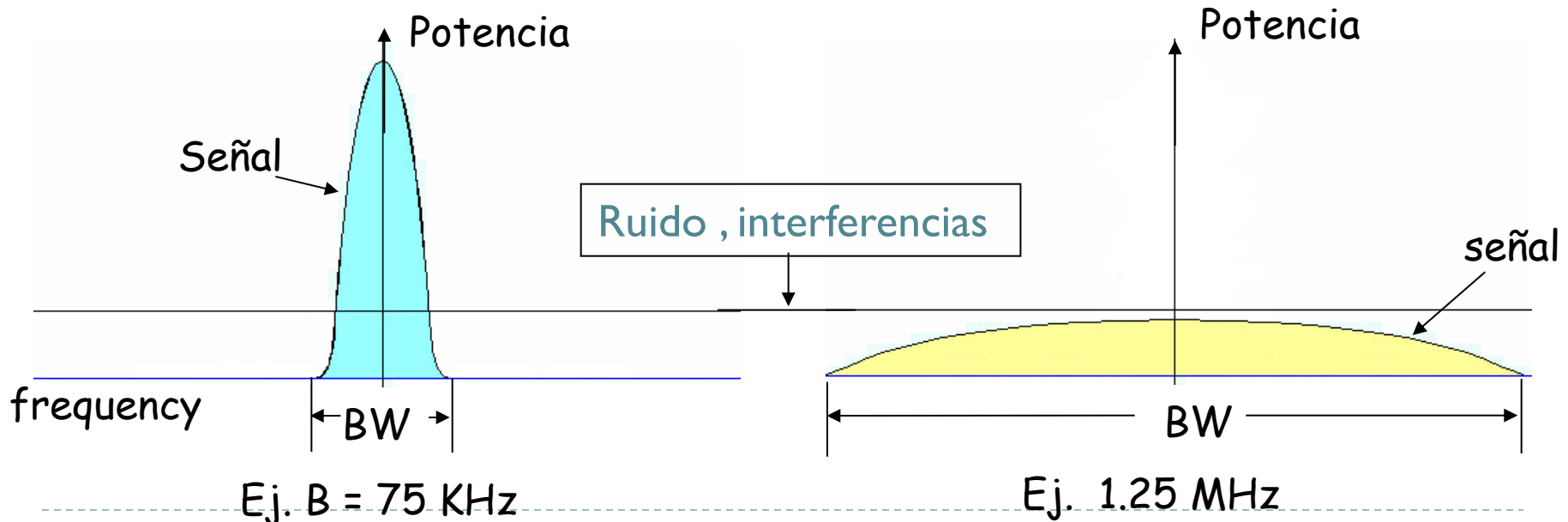
# Spread Spectrum

- ▶ la señal se expande (su espectro) a través de un ancho de banda mayor que el mínimo requerido para transmitir con éxito. Mediante un sistema de codificación se desplaza la frecuencia o la fase de la señal de forma que quede expandida, con lo cual se consigue un efecto de camuflaje. En el receptor la señal se recompone para obtener la información inicial. En definitiva, se esparce la señal a lo largo de un amplio margen del espectro evitando concentrar la potencia sobre una única y estrecha banda de frecuencia. De este modo se puede usar un rango de frecuencias que este ocupado ya por otras señales.



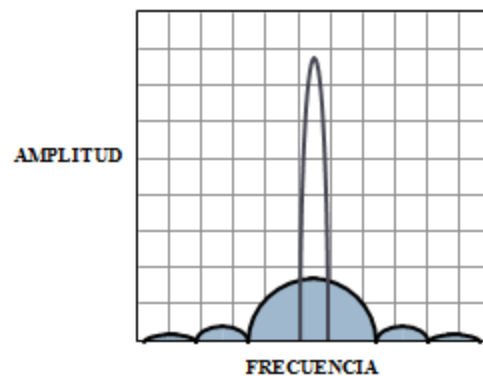
# Además Spread Spectrum .....

- ▶  $C = BW * \log_2(1 + S/N)$
- ▶ Para una misma capacidad  $C$  del canal necesitamos :
  - ▶ Gran relación  $S/N$ , con  $BW$  chico
  - ▶ Pequeña  $S/N$ , con mayor  $BW$  !!!
  - ▶ Incrementar  $S/N$  es ineficiente debido a la relación logarítmica

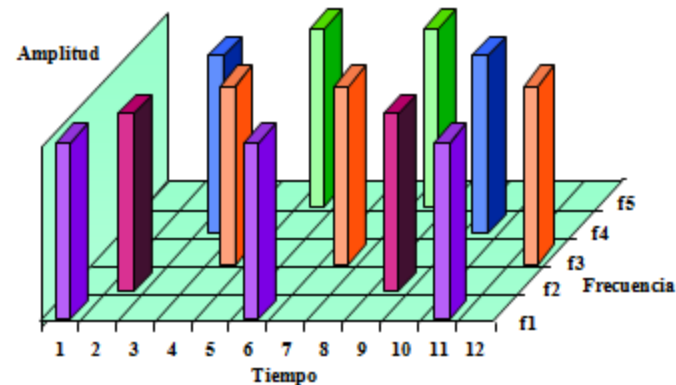


# Espectro Disperso (primeras técnicas)

- ▶ Técnicas tradicionales de hacer una emisión de espectro disperso
  - ▶ Frequency Hopping (salto de frecuencia). El emisor va cambiando continuamente de canal. El receptor ha de seguirlo.
  - ▶ Direct Sequence (secuencia directa). El emisor emplea un canal muy ancho. La potencia de emisión es similar al caso anterior, pero al repartirse en una banda mucho mas ancha la señal es de baja intensidad (poca potencia por Hz).



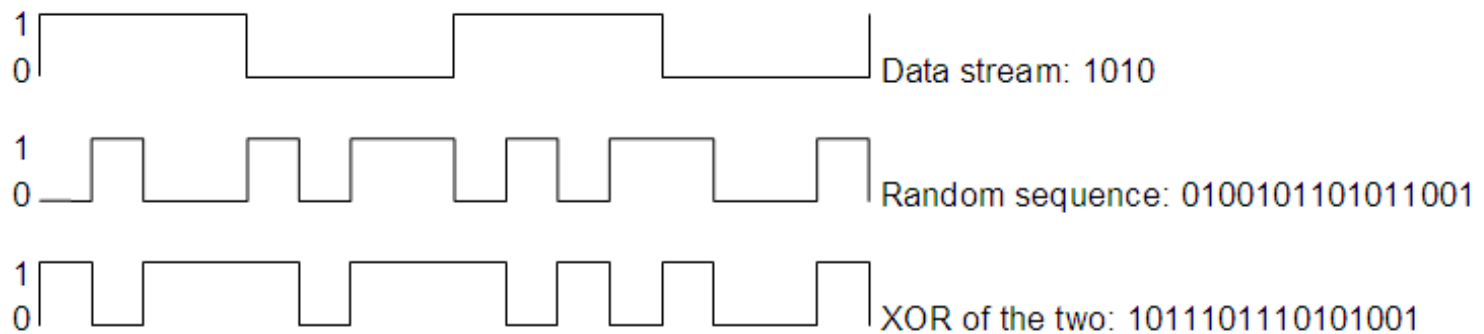
Direct Sequence Spread Spectrum



Frequency Hopping Spread Spectrum

# DSSS

- ▶ DSSS se basa en desplazar la fase de una portadora mediante una secuencia de bits muy rápida, diseñadas de forma que aparezcan aproximadamente el mismo número de ceros que de unos. Esta secuencia, un código Barrer (*n-bit chipping code*), se introduce sustituyendo cada bit de datos; puede ser de dos tipos, según sustituya al cero o al uno lógico.
- ▶ Tan sólo aquellos receptores a los que el emisor envíe dicho código podrán recomponer la señal original, filtrando señales indeseables, previa sincronización. Aquellas que no sepan el código creerán que se trata de ruido. A cada bit de código se le denomina chip. El **IEEE 802.11** establece una secuencia de 11 chips, siendo 100 el óptimo.





# FHSS

---

- ▶ *FHSS* la señal se mueve de una frecuencia otra, es decir la expansión de la señal se produce transmitiendo una ráfaga en una frecuencia, saltando luego a otra frecuencia para transmitir otra ráfaga y así sucesivamente

# Resumiendo

---

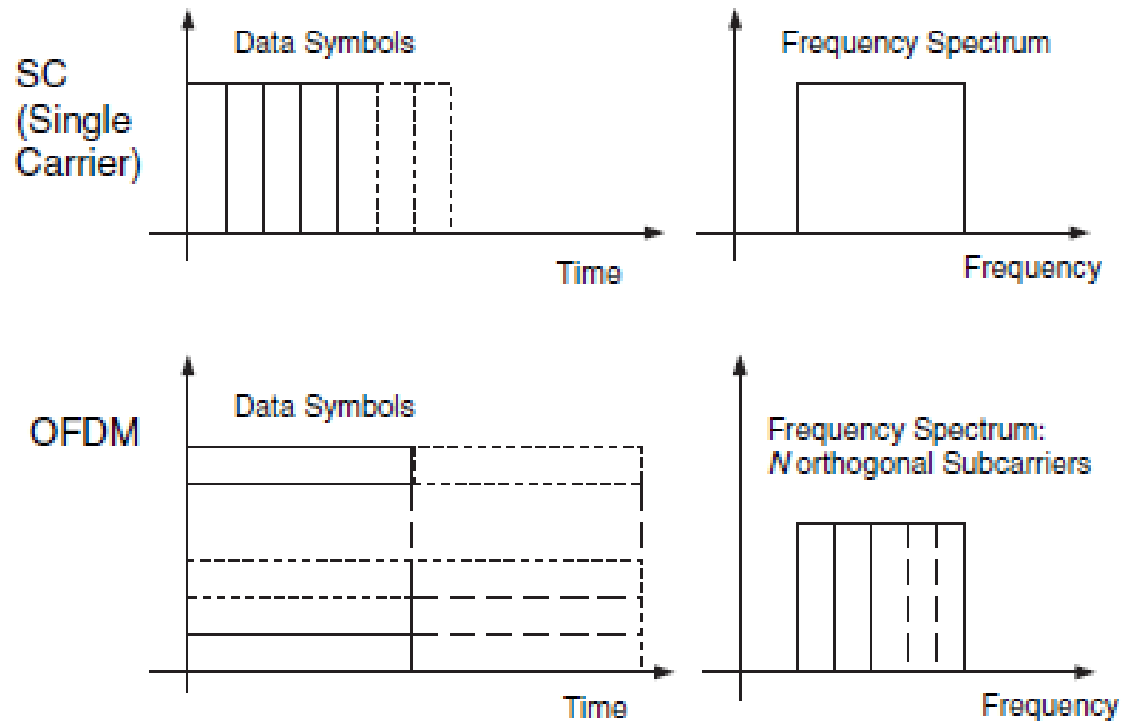
- ▶ En salto de frecuencia se minimiza el impacto de interferencia de otro dispositivo dado que la probabilidad .....
- ▶ En el esquema de secuencia directa se aumenta la tolerancia a interferencia .....
- ▶ Con este ultimo concepto se incluye dentro de las técnicas de espectro disperso a OFDM , Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencias . ( Se incluye al final de la presentación para su lectura posterior a la clase )

# OFDM

Una nueva (?) técnica de acceso al medio

# Introducción a OFDM

---



**Figure 5.6** Time and frequency representation of the SC and OFDM. In OFDM,  $N$  data symbols are transmitted simultaneously on  $N$  orthogonal subcarriers

# OFDM

- En un sistema Multiportadora los símbolos se envían en paralelo
- En un sistema de Única Portadora los símbolos se envían en serie

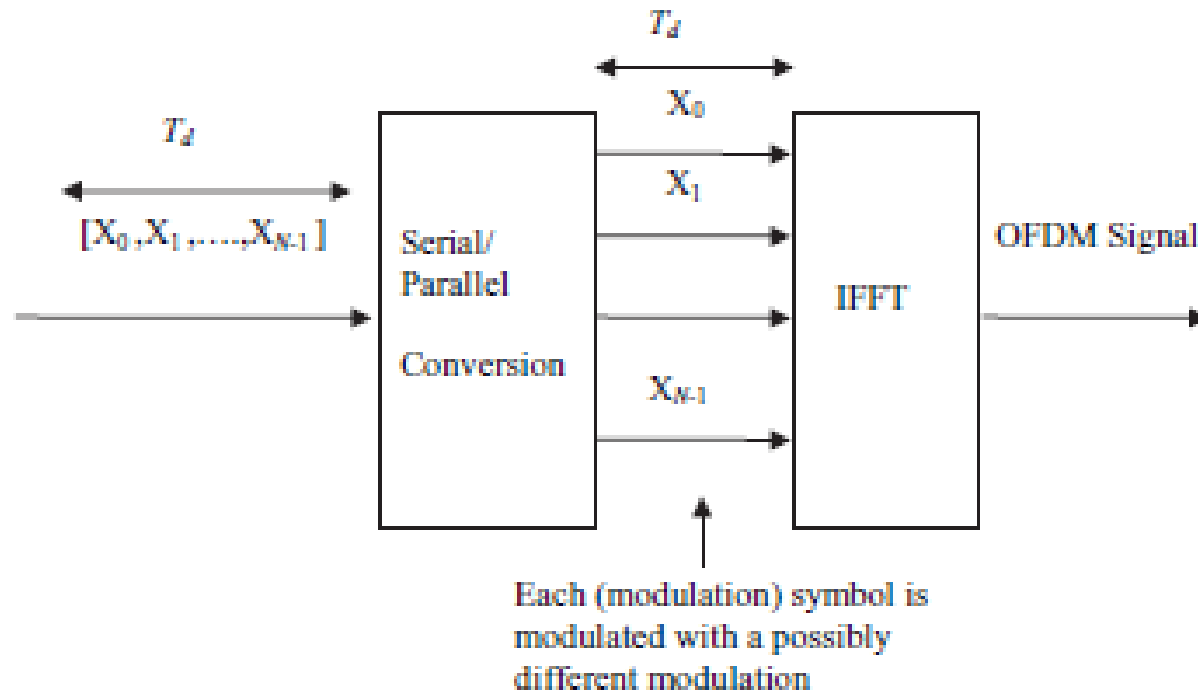


Figure 5.7 Generation of an OFDM signal (simplified)

# OFDM

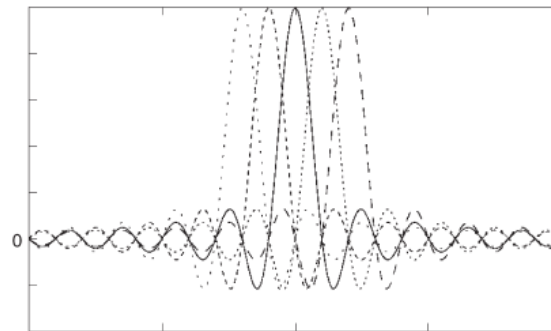
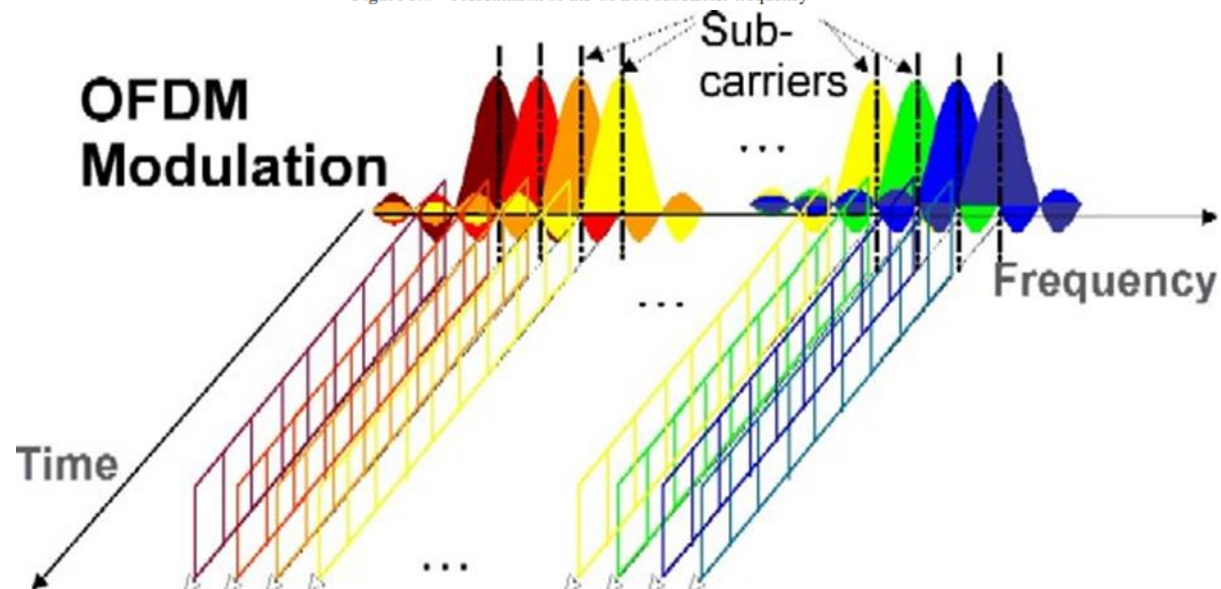
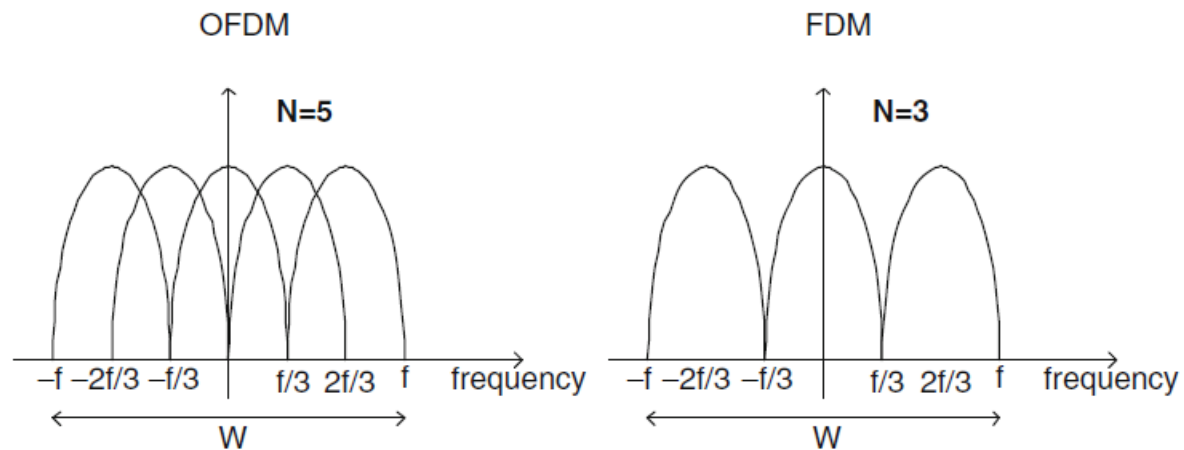


Figure 5.8 Presentation of the OFDM subcarrier frequency



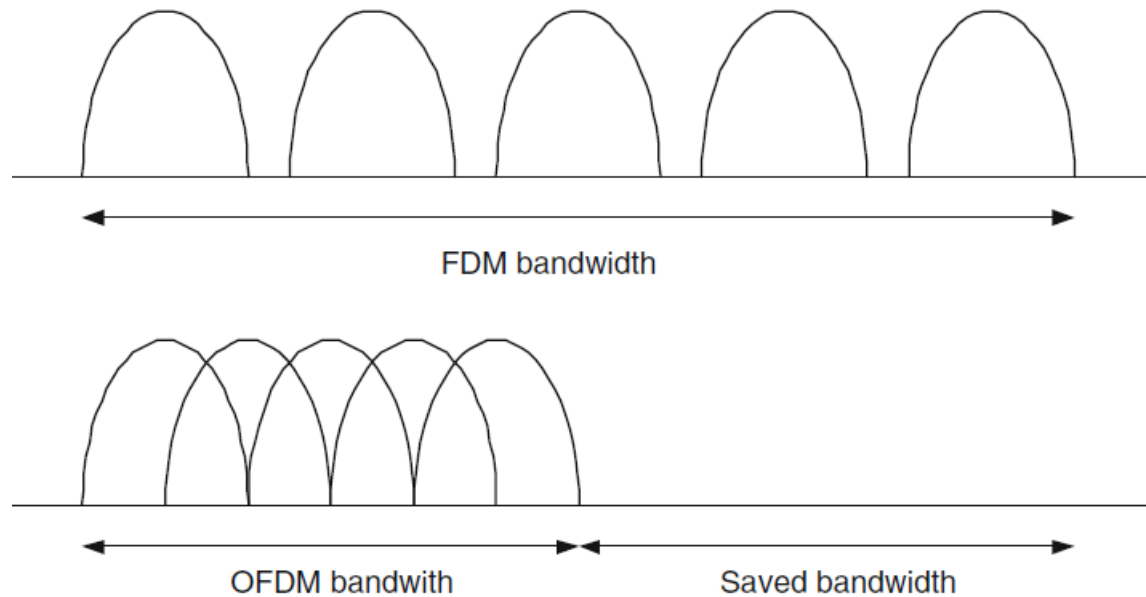
# FDM vs OFDM

---



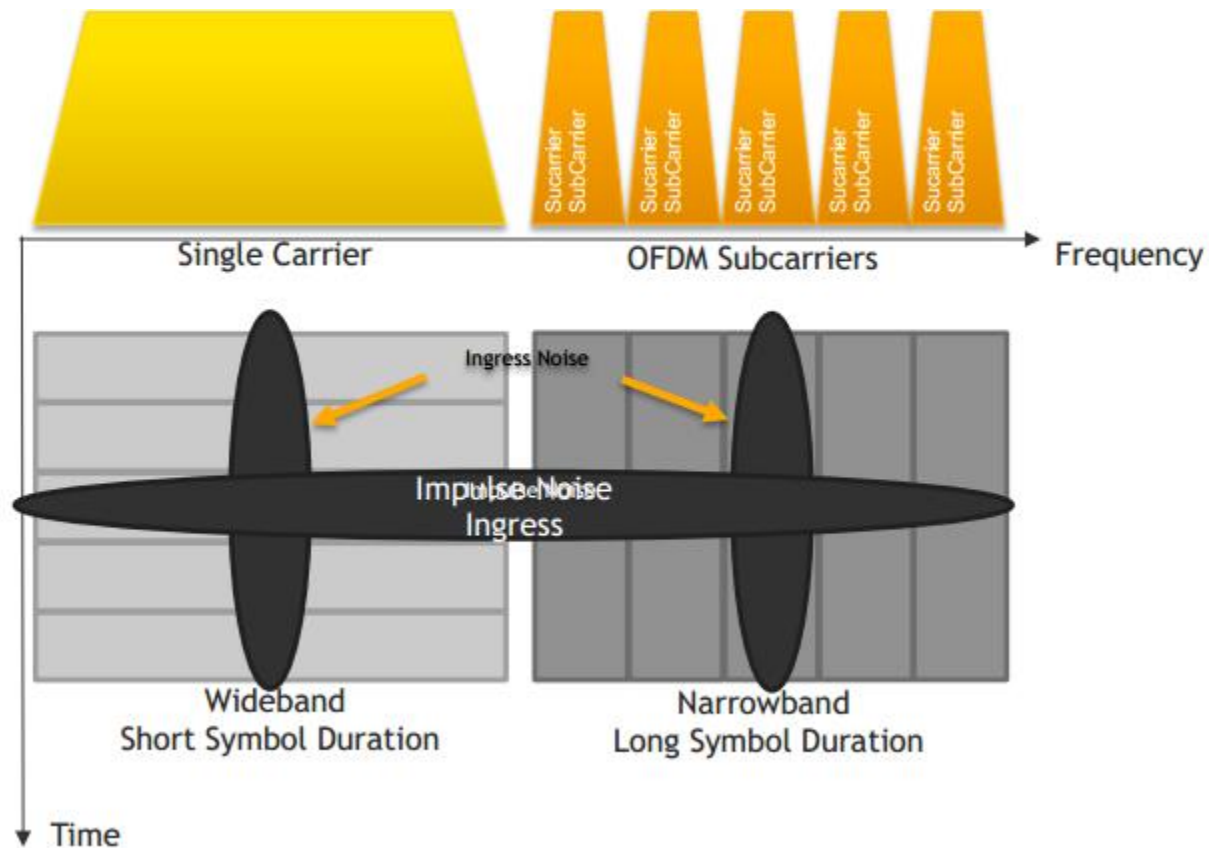
# FDM vs OFDM

---





# Única Portadora vs OFDM : ante ingreso de ruido



# Única Portadora vs OFDM : ante ingreso de ruido

---



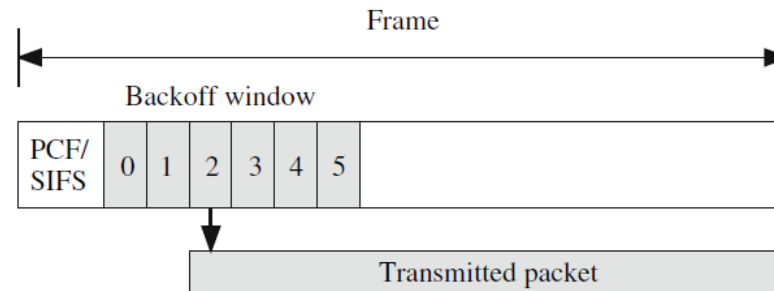
# Performance

*Analysis of Computer and Communication Networks*

**Gebali**, Fayez .2008, XXXII, 669 , ISBN: 978-0-387-74436-

0

# DCF MAC

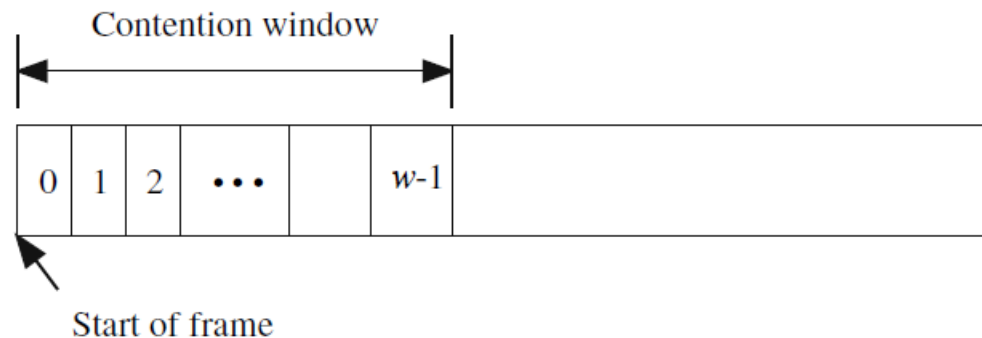


802.11 se lo clasifica como CSMA / CA, pero con previsión de reducir la probabilidad de colisiones mediante la adopción de las ranuras de reserva a través de los contadores de backoff (BO). Las ranuras (slots) tienen el efecto de asegurar que un número reducido de usuarios compiten por el acceso al canal en cualquier ranura determinada reserva. La figura 10.16 muestra la parte de la DCF marco IEEE 802.11. Después del período de PCF (Es decir, los FIS), está el periodo de DCF (es decir, DIFS) que es una ventana de contención que se divide en las ranuras de reserva. La figura muestra seis períodos horarios. La duración de un ranura de reserva depende del retardo de propagación entre las estaciones. El resto de la trama está dedicada a la transmisión de las tramas.

Un emisor que se propone transmitir sensa si el canal está ocupado. A continuación, espera el final de la transmisión actual y el retraso del PCF. A continuación, selecciona de forma aleatoria una ranura de reserva dentro de la ventana de backoff. La figura muestra que una estación en el tiempo de ranura de reserva 2 comienza a transmitir una trama dado que el canal no se utilizó durante las ranuras de reserva 0 y 1.

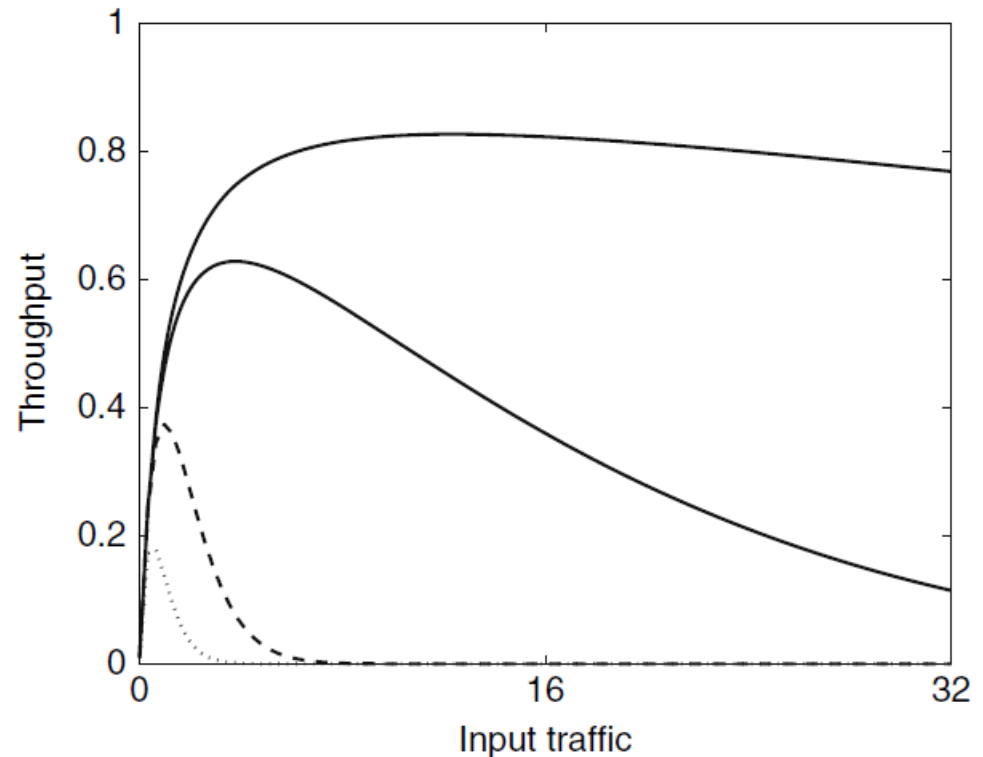
# DCF MAC (cont.)

- ▶ En la figura Modelo el contador de backoff en el esquema de IEEE 802.11 MAC en función de  $w$  slots de reserva
- ▶ Tenemos  $N$  usuarios con igual prioridad.
- ▶ Se asignan  $w$  slots de reservación en la ventana de contención.
- ▶ La duración de un time step en la contention window es aproximadamente el maximo delay de propagación esperado mas el tiempo que le toma a la estación sensar presencia de portadora ( es lo que llamamos DIFS ,distributed interframe spacing ).
- ▶ La relación entre el delay de TX de la trama y la ventana de contencion frame es  $n > 1$  ( todos los frames tiene la misma longitud con lo que le toma  $n$  time steps ser TX).

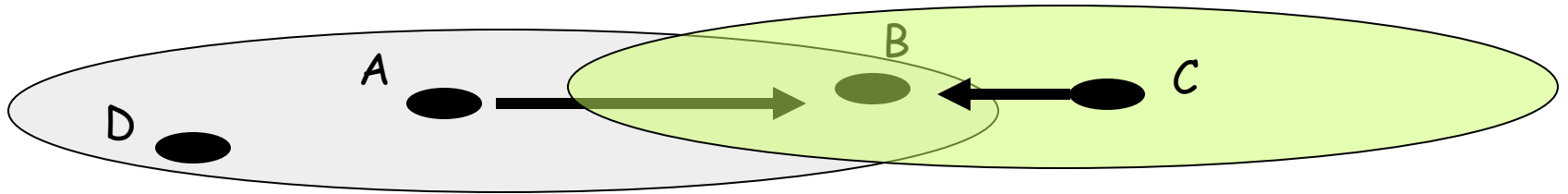


# DCF MAC :Performance

El Throughput de IEEE 802.11/DCF versus el average input traffic cuando  $w = 8$ ,  $n = 10$ , y  $N = 32$  ( línea superior llena ) . La línea siguiente llena es el throughput de CSMA/CA, la línea rayada el throughput de slotted ALOHA, y la punteada de ALOHA puro.



# SINR



$$SINR = \frac{SignalOfInterest(SoI)}{Interference(I) + Noise(N)}$$

$$SoI_B^A = \frac{P_{transmit}^A}{d_{AB}^\alpha}$$

$$I_B^C = \frac{P_{transmit}^C}{d_{CB}^\alpha}$$



$$SINR_B^A = \frac{\frac{P_{transmit}^A}{d_{AB}^\alpha}}{N + \frac{P_{transmit}^C}{d_{CB}^\alpha}}$$

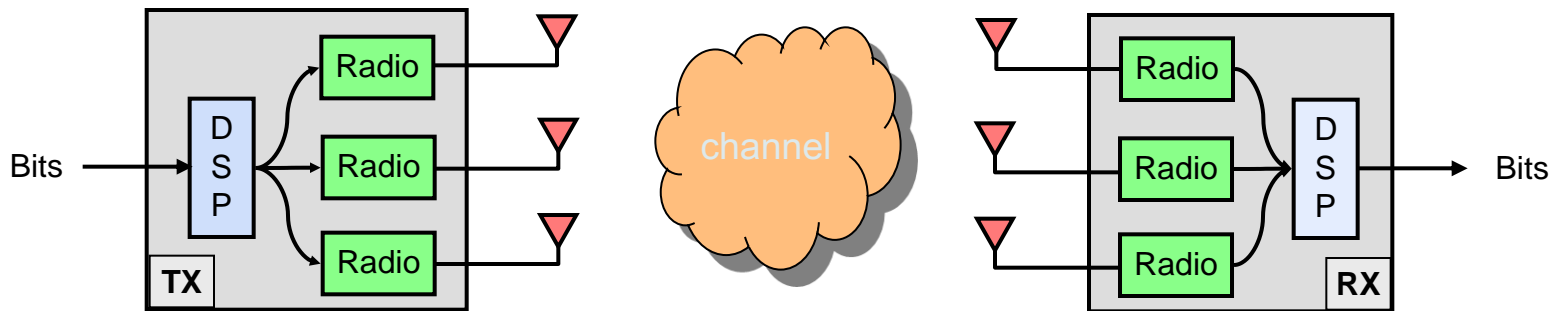
# MIMO

La mejora de IEEE 802.11n



# MIMO?

- ▶ **Multiple Input Multiple Output (MIMO)**
  - ▶ Tx y Rx reciben múltiples señales de radio simultáneamente en el mismo espectro



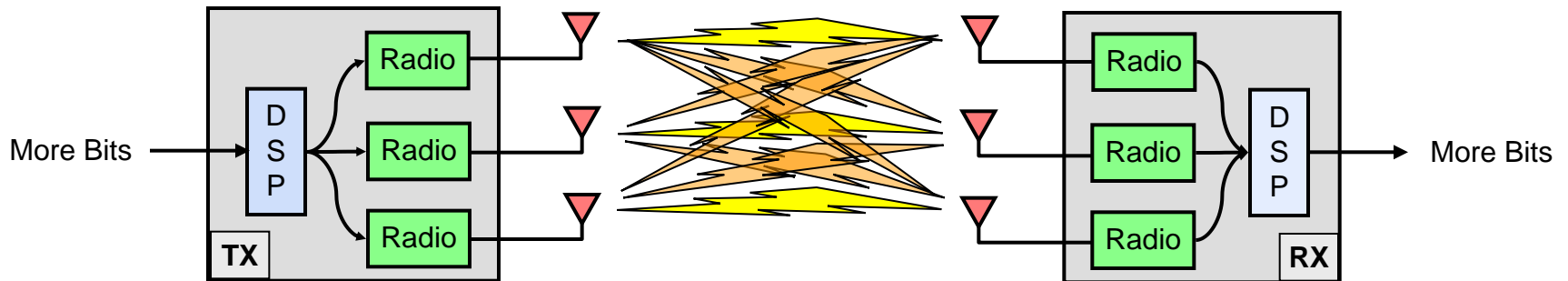
Antes SISO , Single Input Single Output Radio (con un Rx de diversidad opcional )



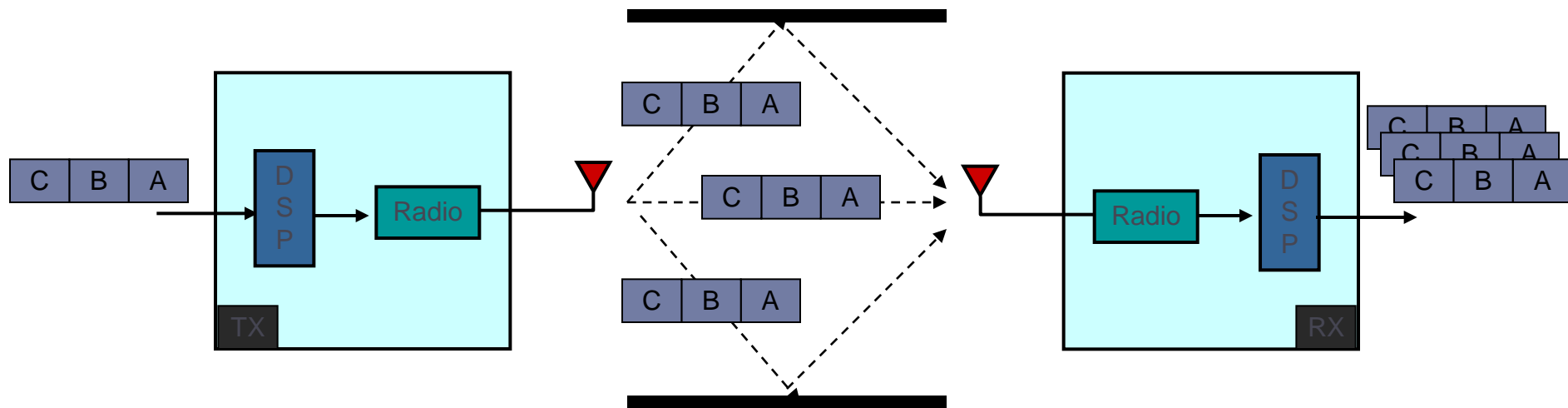
# Multiplexación por división espacial

---

- Múltiples streams de datos independientes son enviados entre las antenas del Tx y Rx para poder enviar mas “bits” en determinado ancho de



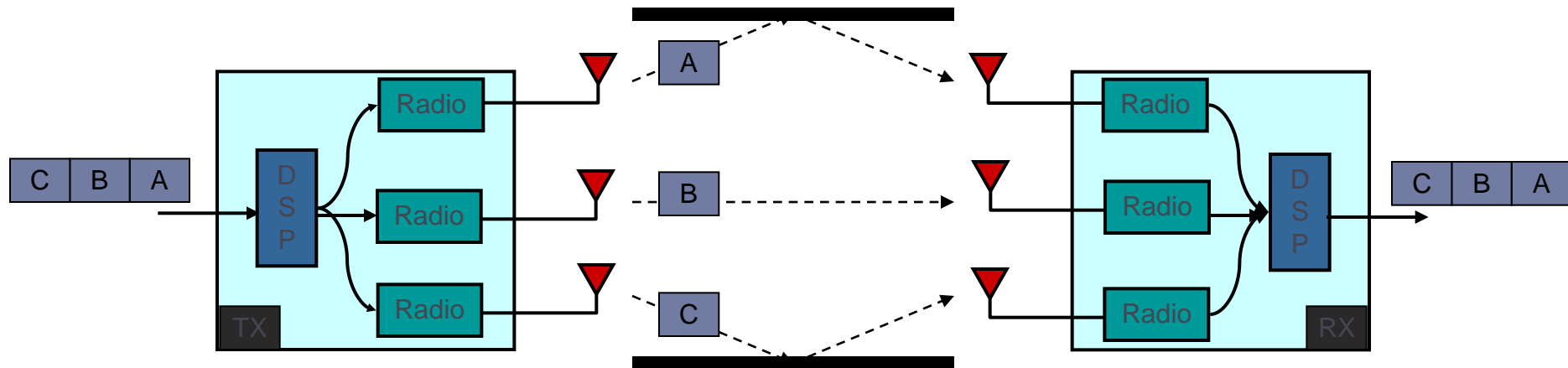
# Propagación Multi-path en sistemas a/b/g



- ▶ Multi-path produce interferencia inter-simbolica (ISI) impactando en el throughput y el alcance.

# Multi-path en 802.11n

---



La Multiplexación espacial transforma la propagación multi-path en un beneficio logrando un aumento del throughput y alcance .